



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA VISUALISASI ALIRAN DAN REAKSI DALAM
PENINGKATAN KONVERSI PEMBUATAN BIODIESEL DARI
CRUDE PALM OIL PADA KOLOM PANCARAN DENGAN
*ELLIPTIC JET***

SKRIPSI

**DESY CHRISTANTI AMALIA
0806456461**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA VISUALISASI ALIRAN DAN REAKSI DALAM
PENINGKATAN KONVERSI PEMBUATAN BIODIESEL DARI
CRUDE PALM OIL PADA KOLOM PANCARAN DENGAN
*ELLIPTIC JET***

SKRIPSI


Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

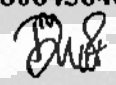
**DESY CHRISTANTI AMALIA
0806456461**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**



Nama : Desy Christanti Amalia
NPM : 0806456461
Tanda Tangan : 
Tanggal : 25 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Desy Christanti Amalia

NPM : 0806456461

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Analisa Visualisasi Aliran dan Reaksi dalam Peningkatan Konversi Biodiesel dari *Crude Palm Oil* pada Kolom Pancaran dengan *Elliptic Jet*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia



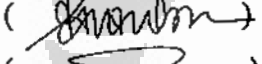

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dijan Supramono, M.Sc

Penguji : Dr. Ir. Asep Handaya S., M.Eng

Penguji : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, M.T

Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono M.T

()
()
()
()

Ditetapkan di : Depok

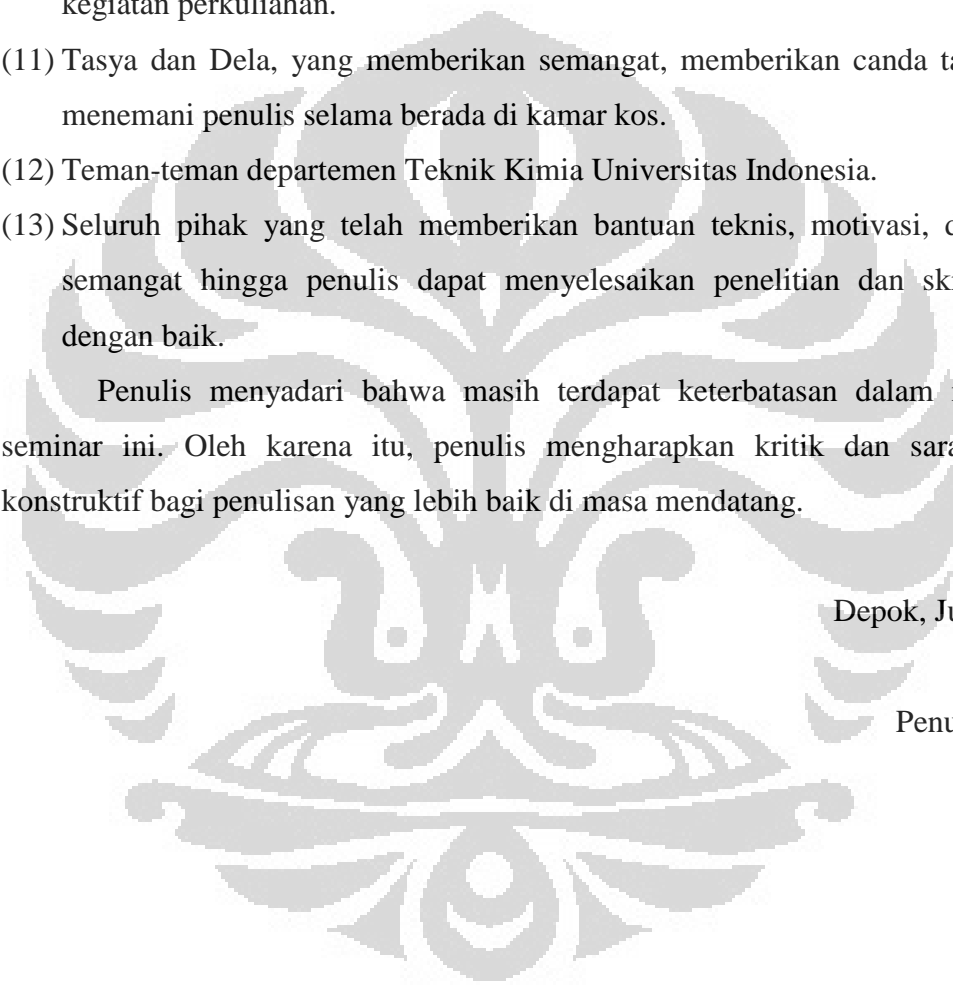
Tanggal : 29 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Visualisasi Aliran dan Reaksi dalam Peningkatan Konversi Biodiesel dari *Crude Palm Oil* pada Kolom Pancaran dengan *Elliptic Jet* ”. Salawat dan salam penulis kirimkan untuk Rasulullah SAW, figur teladan yang merupakan manusia paling berpengaruh dalam sejarah peradaban.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Kedua orang tua penulis, yang senantiasa mengiringi langkah penulis dengan bentuk motivasi, iringan doa, dan dukungan materi.
- (2) Ir. Dijan Supramono, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak masukan, saran, dan semangat serta selalu meluangkan waktu untuk memberikan pemikiran tentang penelitian dan skripsi ini.
- (3) Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA dan selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI dan Ir. Yuliusman, M. Eng selaku koordinator mata kuliah spesial.
- (4) Dr. Ir. Nelson Saksono, M.T, selaku dosen pembimbing akademik.
- (5) Bapak dan Ibu dosen teknik kimia yang telah memberikan ilmu pengetahuan, semangat, dan motivasi selama penulis menjalani perkuliahan.
- (6) Kakak penulis, Selmi Kurniasih, Maya Tri Chafieda, Mas Karmen dan Ka Imron serta adik penulis Nofiati Hikmayah yang telah mentransfer semangat an perhatian lebih kepada penulis.
- (7) Mang Ijal, Kang Jajat, Mas Eko, dan Mas Taufik, Mas Sri; karyawan teknik kimia yang sangat kontributif sehingga penelitian ini terselenggara dengan baik.
- (8) Ichwan Agusta Elfajrie, teman satu perjuangan seminar, penelitian, dan skripsi yang selalu memberikan saran dan bantuan.

- 
- (9) Kak Rahma Muthia yang banyak memberikan saran, bantuan, dan semangat lebih kepada penulis.
- (10) Glifanny, Ayu, Tias, Mondy, Gina, Ima, Kanya, Farah, Inggit, Haryo, Illyin, Fakhrian, dan seluruh teman-teman teknik kimia 2008 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang tidak bisa penulis sebut satu per satu yang berjuang bersama dari awal perkuliahan hingga akhir, mengisi hari-hari penulis dengan candaan ringan dan tawa di “gazebo dosa” di tengah sibuknya kegiatan perkuliahan.
- (11) Tasya dan Dela, yang memberikan semangat, memberikan canda tawa dan menemani penulis selama berada di kamar kos.
- (12) Teman-teman departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- (13) Seluruh pihak yang telah memberikan bantuan teknis, motivasi, doa, dan semangat hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dalam makalah seminar ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif bagi penulisan yang lebih baik di masa mendatang.

Depok, Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Desy Christanti Amalia

NPM : 0806456461

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisa Visualisasi Aliran dan Reaksi dalam Peningkatan Konversi Biodiesel dari *Crude Palm Oil* pada Kolom Pancaran dengan *Elliptic Jet*

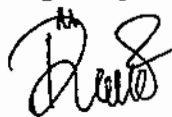
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 25 Juni 2012

Yang menyatakan



(Desy Christanti Amalia)

vii

ABSTRAK

Nama : Desy Christanti Amalia
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Penelitian : Analisa Visualisasi Aliran dan Reaksi dalam Peningkatan Konversi Biodiesel dari *Crude Palm Oil* pada Kolom Pancaran dengan *Elliptic Jet*

Reaktor kolom pancaran didesain untuk mengatasi permasalahan pada reaksi sintesis biodiesel, salah satunya adalah pencampuran antara CPO yang viskos dan metanol yang tidak viskos. Proses *mixing* pembuatan biodiesel diamati dengan metode *Planar Laser Induced Fluorescence* (PLIF) Variabel penelitian terbagi dua yaitu kecepatan jet (5, 8, 11 m/s) dan rasio mol metanol dan minyak (6:1, 5:1, dan 4:1). Penggunaan *elliptic jet* bertujuan untuk memperbesar daerah penetrasi aliran dari jet yang akan meningkatkan perpindahan massa. Hasil penelitian hidrodinamika menunjukkan proses pencampuran terjadi dalam waktu yang singkat (<1 menit) untuk mencapai homogen. Pada reaksi sintesis biodiesel, yield yang dihasilkan pada reaksi nonkatalitik selama 60 menit untuk tiap rasio 4:1, 5:1, dan 6:1 yaitu 68,1 %; 73 %; dan 76.7 %. Sedangkan penggunaan katalis KOH menghasilkan *yield* sebesar 90,83 %. *Mixing* merupakan tahap awal dari suatu reaksi yang membantu reaktan mengalami kontak satu sama lain sebelum mengarah kepada reaksi.

Kata kunci: biodiesel, minyak kelapa sawit, *planar laser induced fluorescence*, reaktor kolom pancaran

ABSTRACT

Nama : Desy Christanti Amalia
Study Program : Chemical Engineering
Title : Analysis of Flow Visualization and Reaction in Increasing of Biodiesel Conversion from Crude Palm Oil in Jet Column Reactor with Elliptic Jet

Jet Column Reactor has been designed to overcome problems in biodiesel synthesis reaction, one of which is mixing of viscous CPO and dilute methanol. The mixing process of making biodiesel is observed by Planar Laser Induced Fluorescence method (PLIF). Variables on this research were jet velocity (5, 8, 11 m / s) and mole ratio of methanol to CPO (6:1, 5:1, and 4:1). The use of elliptic jet aims to increase the penetration of the jet stream that would increase the mass transfer. Flow visualization showed that mixing process lasts in a short time (<1 minute) to achieve homogeneous mixture. Meanwhile in biodiesel synthesis, yield of biodiesel reaction for each ratio of 4:1, 5:1, and 6:1 are 68.1%, 73%, and 76.7% during 60 minutes. On the other hand the use of KOH catalyst produce yields of 90.83 %. Mixing is an early stage of a reaction that helps the reactants contact each other before initiating the reaction.

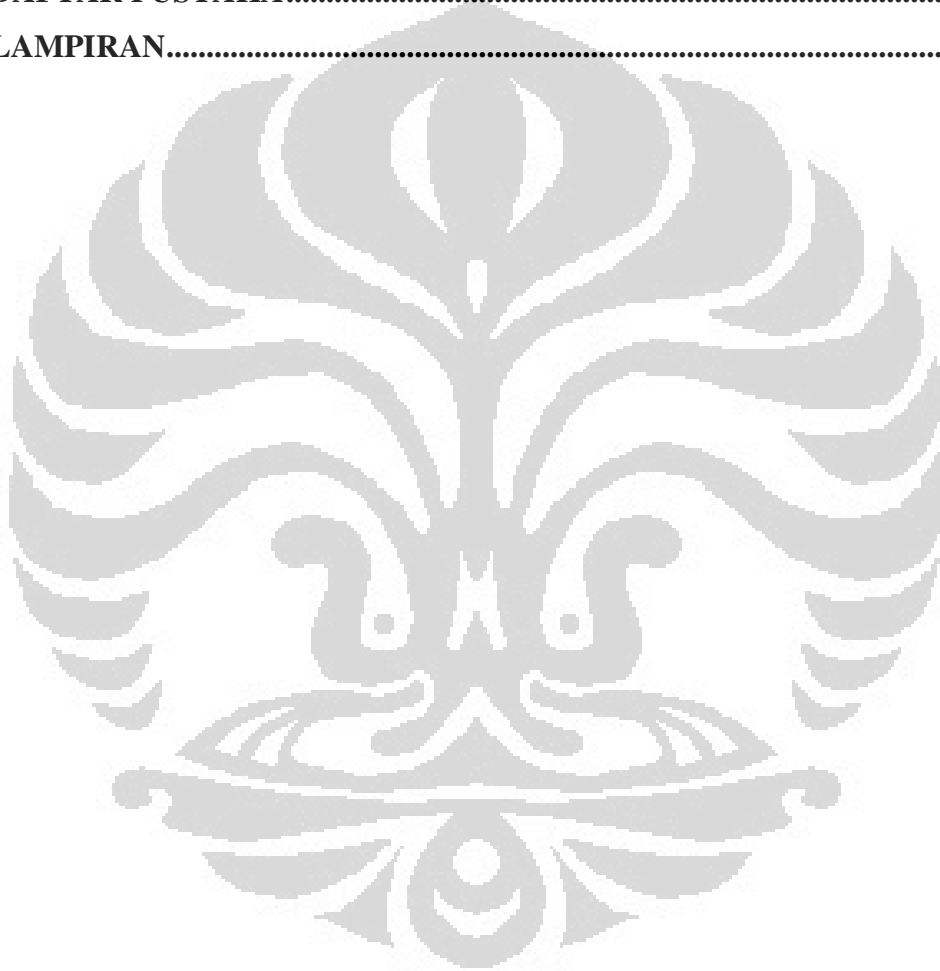
Keywords: biodiesel, crude palm oil, jet column reactor, planar laser induced fluorescence

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Biodiesel.....	7
2.2 Bahan Baku Pembuatan Biodiesel.....	9
2.2.1 Minyak Nabati	9
2.2.2 Metanol	11
2.2.3 Kalium Hidroksida (KOH)	12
2.3 Reaksi Transterifikasi Pembuatan Biodiesel	14
2.4 <i>Jet Column Reactor</i> (Reaktor Kolom Pancaran)	16
2.5 Pemilihan <i>Elliptical Jet</i>	18
2.6 Studi Hidrodinamika pada Reaktor Kolom Pancaran	20
2.7 Metode <i>Planar Laser Induced Fluorencence</i> (PLIF).....	21

BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Rancangan Penelitian	25
3.2 Variabel Penelitian	26
3.3 Alat dan Bahan	26
3.3.1 Visualisasi Aliran dengan Metode PLIF.....	26
3.3.2 Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Kolom Pancaran	29
3.4 Prosedur Penelitian.....	30
3.4.1 Persiapan Uji Operasi Kolom	30
3.4.2 Pengoperasian Rangkaian Alat Studi Hidrodinamika Kolom Pancaran.....	31
3.4.3 Reaksi Sintesis Biodiesel Menggunakan Kolom Pancaran	32
3.4.3 Pengujian Kualitas Produk Biodiesel.....	34
3.5 Teknik Analisis dan Penyimpulan Data	35
3.5.1 Analisis Kualitatif	35
3.5.2 Analisa Kuantitatif Studi Hidrodinamika berupa Visualisasi Aliran dengan Metode PLIF	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Perancangan Alat.....	38
4.2 Studi Hidrodinamika dan Visualisasi Aliran Proses Pencampuran Biodiesel dengan Metode PLIF	40
4.2.1 Penggunaan Fluida untuk Simulasi dan Visualisasi Pembuatan Biodiesel ..	40
4.2.2 Pengamatan Kualitatif Visualisasi Aliran.....	44
4.2.3 Proses Pencampuran untuk Variasi Rasio Mol Metanol dan CPO pada Kecepatan 11 m/s	48
4.2.4 Proses Pencampuran untuk Variasi Kecepatan Jet pada Rasio 6:1 dan Waktu 25 detik.	52
4.3 Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit	56
4.3.1 Produk Biodiesel Hasil Reaksi Nonkatalitik dan Katalitik.....	56
4.3.2 Bilangan Asam Produk Biodiesel	58
4.3.3 Kandungan Air Produk	58

4.3.4	Konversi Trigliserida	59
4.3.5	Yield Biodiesel.....	61
4.4	Hubungan Hidrodinamika dan Reaksi pada Pembuatan Biodiesel Menggunakan Kolom Pancaran	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....		68
LAMPIRAN.....		72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi transesterifikasi. (Mekhilef et al, 2010).....	14
Gambar 2. 2 Komposisi Produk Hasil Transesterifikasi Minyak Bunga Matahari untuk Senyawa Trigliserida, Digliserida, dan Monogliserida dengan Variasi Molar Rasio.....	15
Gambar 2. 3 Tiga Daerah Hidrodinamika pada Kolom Pancaran.	17
Gambar 2.4 Berbagai Bentuk Penampang Jet dan Pola Airan yang Dihasilkan... ..	18
Gambar 2.5 Berbagai Bentuk Penampang Jet a) Circular, b) Elliptic Low Aspect Ratio, c) Elliptic High Aspect Ratio, d) Square, e) Diamond Shape.	19
Gambar 2.6 Efek <i>Jet</i> dan jarak penetrasi pancaran variasi <i>Circular, Tabbed,</i> <i>Elliptical,</i> dan <i>Radially Lobed Jet</i>	19
Gambar 2.7 Peristiwa <i>Entrainment</i> pada Kolom Pancaran. a) Kecepatan jet di bawah nilai kecepatan threshold ($V < V_c$), b) Kecepatan jet di atas nilai kecepatan threshold ($V > V_c$) sehingga jet menghisap lapisan film udara pada ketebalan h	21
Gambar 2.8 Diagram Jablonski Proses Fluoresensi.....	22
Gambar 2.9 Rentang Spektra Absorpsi dan Emisi dari suatu Zat Fluoresensi.....	23
Gambar 2.10 Metode Injeksi Rhodamine B pada Kolom Pancaran, sebelah kiri menunjukkan pola aliran untuk <i>premixed injection</i> dan sebelah kanan untuk <i>local injection</i>	24
Gambar 3.1 Skema Alat Kolom Pancaran.	28
Gambar 3.2 Skema Pengambilan Sampel Video untuk Visualisasi Aliran pada Kolom Pancaran.	29
Gambar 3.3 Visualisasi Aliran Fluida <i>Burner</i> dengan Metode <i>Planar Laser</i> <i>Induced Fluorescence</i>	32
Gambar 3.4 Diagram Alir Reaksi Pembuatan Biodiesel dengan Kolom Pancaran	33
Gambar 4.1 Rangkaian Alat Reaktor Kolom Pancaran. (a) Rangkaian Alat Pembuatan Biodiesel (b) Rangkaian Alat Analisa Visualisasi Aliran.	40
Gambar 4.2 Tingkat Emisi dan Absorpsi dari Zat Fluoresensi (Rhodamine B)... ..	45

Gambar 4.3 Daerah Pernyebaran Konsentrasi Rhodamine B dalam Kolom.	46
Gambar 4.4 Level Emisi dalam range 0-1 pada Daerah sumbu X dan Y untuk Kecepatan Jet 5 m/s rasio mol Metanol dan CPO 6:1.....	47
Gambar 4.5 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 4:1 dan Kecepatan 11 m/s	48
Gambar 4.6 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 5:1 dan Kecepatan 11 m/s.	49
Gambar 4.7 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 11 m/s.	49
Gambar 4.8 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal terhadap Level Emisi dengan Variasi Rasio Mol 4:1 dan Kecepatan 11 m/s.....	50
Gambar 4.9 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal terhadap Level Emisi dengan Variasi Rasio Mol 5:1 dan Kecepatan 11 m/s.....	50
Gambar 4.10 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal terhadap Level Emisi dengan Variasi Rasio Mol 5:1 dan Kecepatan 11 m/s.	51
Gambar 4.11 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 5 m/s.	53
Gambar 4.12 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 8 m/s.	53
Gambar 4.13 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 11 m/s	54
Gambar 4.14 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal dengan Variasi Kecepatan Jet 5, 8 dan 11 m/s pada Waktu 20 detik untuk Rasio Mol 6:1.....	55
Gambar 4.15 Hasil Biodiesel Reaksi Non Katalitik. a)Rasio 5:1, b)Rasio 6:1.....	56
Gambar 4.16 Produk Hasil Reaksi Katalitik selama 60 menit untuk Rasio Mol 6:1.....	57
Gambar 4.17 Kadar Air Biodiesel untuk Variasi Rasio Mol Metanol dan CPO untuk Waktu 60 menit.....	59

Gambar 4.18 Konversi Trigliserida pada Reaksi Nonkatalitik dengan Variasi dalam Waktu pada Rasiometanol dan minyak 6:1.....	60
Gambar 4.19 Konversi Trigliserida pada Reaksi Nonkatalitik dengan Variasi Rasio Mol Metanol Minyak pada Kecepatan 11 m/s Waktu Reaksi 60 menit.	61
Gambar 4.20 Yield biodiesel pada Reaksi Biodiesel pada Rasio Mol Metanol dan CPO 6:1 untuk Kecepatan 11 m/s.....	62
Gambar 4.21 Yield biodiesel pada Reaksi Biodiesel pada waktu 60 menit untuk Kecepatan Jet 11 m/s.....	63



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Biodiesel Berdasarkan SNI 04-7182-2006.....	8
Tabel 2.2 Produksi Minyak Kelapa Sawit Dunia	11
Tabel 2.3 Perbandingan Penggunaan Beberapa Jenis Katalis dalam Pembuatan Biodiesel	13
Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan pada Visualisasi aliran dengan metode PLIF	27
Tabel 3.2 Peralatan yang digunakan pada Reaksi Pembuatan Biodiesel.....	30
Tabel 4.1 Sampel viskositas (Fluorescence Correlation Spectroscopy, 2008).....	41
Tabel 4.2 Difusivitas Rhodamine dalam Berbagai Variasi Viskositas Larutan ...	42
Tabel 4.3 Difusivitas Metanol dalam Berbagai Variasi Viskositas Larutan (.....	42
Tabel 4.4 Bilangan Schmidt untuk Fluida Simulasi	43
Tabel 4.5 Bilangan Schmidt untuk Fluida Reaksi	43
Tabel 4.6 Nilai Bilangan Asam dari Produk Biodiesel yang Dihasilkan.....	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi merupakan salah satu sektor penting dalam kehidupan. Sebagian besar aktivitas manusia terkait dengan penggunaan energi, seperti keperluan transportasi dan pembangkit tenaga listrik yang notabene merupakan kebutuhan masyarakat. Ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar primer saat ini masih mendominasi pemakaian energi di Indonesia. Berdasarkan data Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi pada tahun 2006 diketahui bahwa minyak bumi, gas alam, dan batu bara memberikan kontribusi sebesar 86,7% terhadap ketersediaan energi di Indonesia (Direktur Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2008).

Biodiesel merupakan salah satu dari jenis bahan bakar biofuel yang dapat terbuat minyak nabati. Salah satu bahan baku pembuatan biodiesel yang cukup potensial di Indonesia adalah kelapa sawit. Industri kelapa sawit di Indonesia telah berkembang pesat dengan pertumbuhan luas area perkebunan yang pesat pula, mencapai 6,3 juta hektar berupa 60% perkebunan swasta dan pemerintah dan 40% perkebunan rakyat (Soetrisno, 2008).

Proses pembuatan biodiesel akan lebih efisien dan efektif bila didukung oleh teknologi yang canggih. Saat ini pemegang lisensi teknologi proses pembuatan biodiesel skala industri adalah *Lurgi Process*. Akan tetapi terdapat beberapa kendala dalam reaksi pembuatan biodiesel dengan menggunakan teknologi tersebut, antara lain:

1. Tingginya rasio bahan baku umpan berupa alkohol terhadap trigliserida antara yang berpengaruh terhadap efisiensi biaya produksi

2. Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang tinggi dan struktur molekul minyak yang besar membuat mobilitasnya rendah sehingga mempersulit molekul alkohol untuk bisa mencapai gugus aktif minyak (ester/karboksil) dan bereaksi karena kendala rintangan sterik-nya. Untuk itu perlu adanya sistem pengadukan berdaya tinggi pada reaktor untuk mendapatkan proses pencampuran yang lebih baik (Supramono & Setiadi, 2011).
3. Perbedaan yang tipis antara titik didih metanol dan suhu reaksi biodiesel. Titik didih metanol yang cukup rendah yaitu 65°C (Mekhilef et al, 2010) dan suhu reaksi optimum untuk biodiesel adalah 60°C dengan konversi 94% (Freedman et al, 1984). Perbedaan suhu reaksi biodiesel dan titik didih metanol dengan rentang yang rendah serta sifat metanol yang mudah menguap akan berdampak pada proses reaksi pencampuran.

Beberapa hal di atas menjadi suatu permasalahan dalam proses reaksi pembuatan biodiesel. Reaksi antara dua jenis fluida dapat ditingkatkan dengan menciptakan kondisi dimana fluida yang satu dapat terdispersi dengan cepat ke dalam fluida lainnya. Penelitian ini memberikan alternatif solusi dengan mengembangkan produksi biodiesel menggunakan reaktor kolom pancaran (*Jet Column*).

Kolom pancaran memanfaatkan *high shear* (geseran antara partikel-partikel fluida karena adanya gradien kecepatan) dengan menumbukkan fluida yang keluar dari jet ke dalam fluida yang ada di dalam kolom. Aliran fluida yang memancar keluar dari jet akan menghasilkan pusaran *eddy* campuran dalam kolom. Pusaran ini mengakibatkan terjadinya proses pengadukan dalam kolom. Pengadukan ini akan membuat larutan dalam kolom terdispersi satu sama lain dengan memperbesar luas kontak antar molekul yang bereaksi (Mandal et al, 2003).

Selama ini, penelitian yang ada umumnya terfokus pada peningkatan reaksi biodiesel dari kinetika reaksi. Pada penelitian terdahulu penggunaan reaktor *bubble column* tanpa menggunakan tenaga jet pernah dilakukan untuk proses pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi non-katalitik dan

menghasilkan konversi biodiesel sebesar 95,17 % berat namun dalam suhu yang tinggi yaitu 523 K dalam waktu 5 jam serta memerlukan sistem peralatan yang lebih kompleks (Joelianingsih et al, 2007). Penelitian reaksi biodiesel dari segi kinetika reaksi menghasilkan bahwa reaksi katalitik memberikan keadaan optimal setelah reaksi berlangsung 30 menit pada rasio mol metanol dan minyak sebesar 6 : 1 dengan *yield* biodiesel sebesar 85%. Sedangkan hasil reaksi non-katalitik memberikan hasil optimal pada rasio mol 6 : 1 setelah reaksi berlangsung selama 50 menit dengan *yield* biodiesel sebesar 73% (Karnanim, 2010).

Studi hidrodinamika berhubungan dengan sifat fluida dan tenaga yang menggerakkan fluida tersebut. Penelitian ini melakukan pengamatan hidrodinamika berupa visualisasi aliran dengan mengisolasi efek hidrodinamika dari efek reaksi menggunakan fluida simulasi gliserol dan air dengan viskositas menyerupai viskositas *Crude Palm Oil* (CPO) dan metanol. Tujuannya adalah untuk melihat pengaruh dari proses pencampuran dalam fluida viskos terhadap keberhasilan reaksi pembuatan biodiesel. Dengan memanfaatkan *high shear* pada kolom pancaran, proses reaksi dan pencampuran diharapkan berjalan lebih efisien.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pola visualisasi aliran dalam proses pencampuran biodiesel dari CPO dengan menggunakan kolom pancaran?
2. Bagaimana variasi kecepatan aliran pancaran fluida dan rasio mol metanol dan CPO pada kolom pancaran mempengaruhi proses *mixing* dan konversi reaksi biodiesel?
3. Berapa % *yield* biodiesel yang dihasilkan dari penerapan kondisi optimum pengamatan visualisasi aliran menggunakan kolom pancaran?
4. Bagaimana efek hidrodinamika mempengaruhi proses reaksi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan pola visualisasi aliran selama proses pencampuran menggunakan kolom pancaran.
2. Mengetahui pengaruh kecepatan jet dan rasio mol metanol dan CPO pada reaksi sintesis biodiesel menggunakan kolom pancaran.
3. Memperoleh yield reaksi non-katalitik dan katalitik pembentukan biodiesel dengan menggunakan kolom pancaran
4. Mengetahui pengaruh hidrodinamika terhadap proses reaksi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini menjadi studi tentang bagaimana kolom pancaran dapat mempengaruhi proses *mixing* dan hasil konversi biodiesel.
2. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap upaya peningkatan konversi dan yield dari reaksi sintesis biodiesel, sehingga diharapkan biodiesel dapat menjadi potensi sebagai sumber energi terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah :

1. Pengamatan peningkatan reaksi biodiesel dari segi hidrodinamika mengisolasi efek dari reaksi untuk melihat pengaruh hidrodinamika. Oleh karena itu digunakan larutan pengganti campuran *Crude Palm Oil (CPO)* dan metanol berupa gliserol dan air yang dicampur sehingga memiliki nilai viskositas yang sama dengan metanol dan CPO.
2. Data yang diambil berupa visualisasi aliran pada kolom pancaran dengan variasi kecepatan pancaran fluida antara 0 s.d 13,5 m/s dan rasio mol metanol dan CPO sebesar 3:1 ; 4:1;5:1 dan 6:1 dalam kolom gelembung pancaran.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjelaskan mengenai penting dan perlunya penelitian. Kajian permasalahan bermuara pada ide penelitian yang akan diimplementasikan. Untuk menghasilkan kesimpulan yang konvergen, dilakukan pembatasan masalah. Pada bagian akhir pendahuluan, dikemukakan tujuan dan manfaat penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka memuat teori sebagai landasan berpikir dalam melakukan penelitian dan analisis. Teori yang dijelaskan mencakup biodiesel, kolom pancaran, pemilihan kolom pancaran, studi hidrodinamika kolom pancaran, serta metode PLIF (*Planar Laser Induced Fluorescence*)

BAB III METODE PENELITIAN

Bab metode penelitian mencakup diagram alir penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian, dan metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis produk biodiesel yang dihasilkan. Bahasan metode penelitian adalah kunci awal untuk membangun sebuah penelitian. Dengan pembahasan metode yang lengkap, selanjutnya penelitian siap untuk diimplementasikan dalam rangka menghasilkan kesimpulan dan menjawab permasalahan yang telah dirumuskan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab pembahas mencakup analisis mengenai perancangan alat, studi hidrodinamika untuk visualisasi aliran menggunakan metode PLIF, analisis hasil produk biodiesel menggunakan kolom pancaran, dan hubungan antara efek hidrodinamika terhadap reaksi

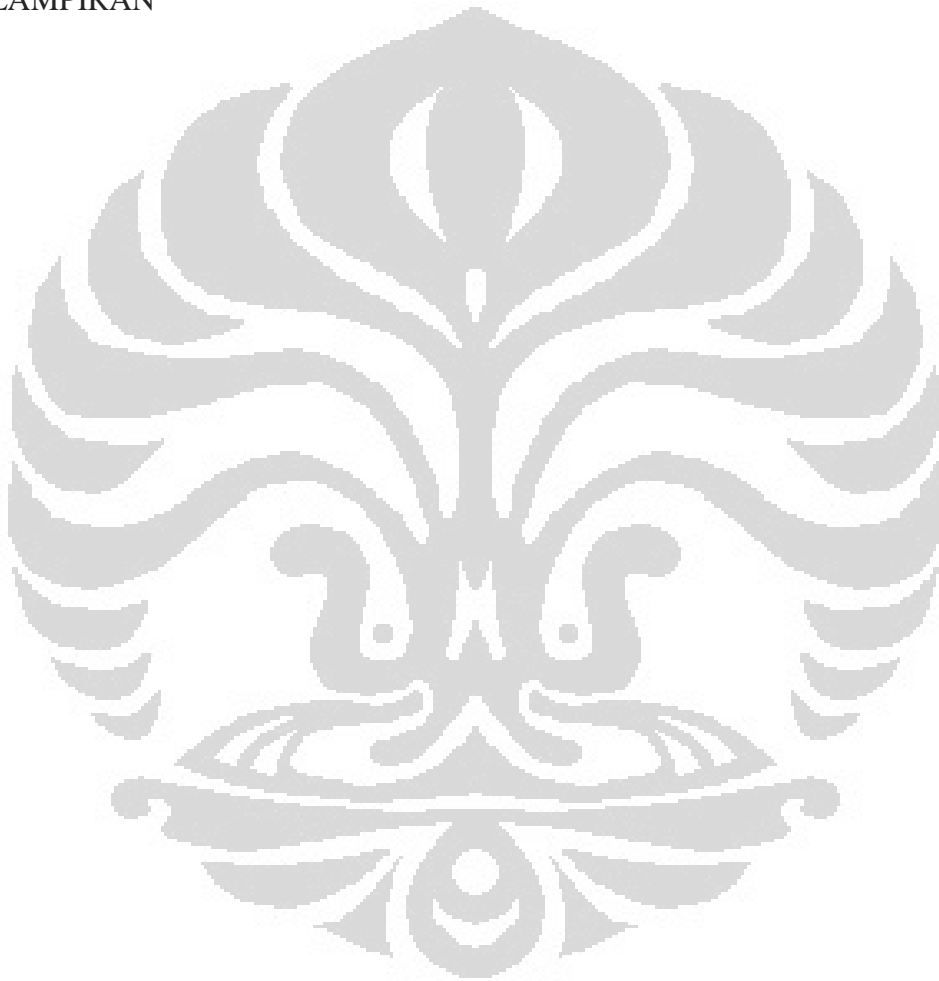
BAB 5 KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dengan mengacu kepada tujuan di awal.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan acuan pustaka dan referensi baik dari literatur, jurnal ilmiah, maupun sumber lain yang digunakan sebagai rujukan dalam penulisan skripsi ini.

LAMPIRAN



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan dan dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yang dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel. Biodiesel terbuat dari berbagai jenis minyak nabati yang berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui.

Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani yang digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku.

Biodiesel mempunyai rantai karbon antara 12 sampai 20 serta mengandung oksigen. Salah satu perbedaan antara minyak diesel (solar) dengan biodiesel adalah adanya oksigen pada biodiesel. Adanya oksigen ini menyebabkan *flash point* biodiesel lebih tinggi sehingga tidak mudah terbakar. Namun, biodiesel mempunyai sifat kimia dan fisika yang serupa dengan minyak diesel (solar) sehingga dapat digunakan langsung untuk mesin diesel atau dicampur dengan minyak diesel. Energi yang dihasilkan oleh biodiesel relatif tidak berbeda dengan petroleum diesel (128.000 BTU vs 130.000 BTU), sehingga *engine torque* dan tenaga kuda yang dihasilkan juga sama (Munsanif, 2007).

Biodiesel memiliki standar tersendiri untuk dapat digunakan sebagai bahan pengganti petrodiesel atau sebagai campuran dalam minyak diesel. Standar ini menjadi acuan dalam pembuatan biodiesel yang memiliki sifat fisik dan kimia menyerupai petrodiesel seperti massa jenis, viskositas, angka setana, bilangan asam dan parameter lainnya. Di Indonesia, standar parameter biodiesel berdasarkan Badan Standardisasi Nasional disajikan pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2. 1 Standar Biodiesel Berdasarkan SNI 04-7182-2006 (Badan Standardisasi Nasional, 2006)

No	Parameter	Metode Uji	Satuan	Nilai
1	Massa Jenis pada 40°C	ASTM D 1298	kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	ASTM D 445	mm ² /s (cSt)	2,3 - 6,0
3	Angka Setana	ASTM D 613		min. 51
4	Titik Nyala (mangkok tertutup)	ASTM D D 93	°C	min. 100
5	Titik Kabut	ASTM D 2500	°C	maks. 18
6	Korosi Lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)	ASTM D 130		maks. No 3
7	Residu Karbon - dalam sampel asli - dalam 10 % ampas distilasi	ASTM D 4530	% massa	maks. 0,05 maks. 0,30
8	Air dan sedimen	ASTM D 2709	% volume	maks 0,05
9	Temperatur distilasi 90 %	ASTM D 1160	°C	maks. 360
10	Abu tersulfatkan	ASTM D 874	% massa	maks. 0,02
11	Belerang	ASTM D 5453	ppm-m (mg/kg)	maks. 100
12	Fosfor	AOCS Ca 12-55	ppm-m (mg/kg)	maks. 10
13	Angka asam	AOCS Cd 3d-63	mg-KOH/g	maks. 0,8
14	Gliserol bebas	AOCS 14-56	% massa	maks. 0,02
15	Gliserol total	AOCS 14-56	% massa	maks. 0,24
16	Kadar ester alkil		% massa	min. 96,5
17	angka Iodium	AOCS Cd 1-25	% massa (g- I ₂ /100 g)	maks. 115
18	Uji Halphen	AOCS Cb 14-56		Negatif

Biodiesel sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan memiliki beberapa kelebihan. Biodiesel dapat larut dalam petrodiesel pada perbandingan berapapun dan memiliki beberapa kelebihan teknis jika dibandingkan dengan petrodiesel berkadar sulfur sangat rendah. Kelebihan tersebut antara lain sifat yang menyerupai pelumas, toksisitas rendah, dapat dibuat dari bahan baku domestik dan terbarukan, *flash point* dan biodegradabilitas yang sangat tinggi, kadar sulfur yang sangat kecil, dan kadar emisi total yang lebih rendah.

Kekurangan biodiesel yang paling menonjol antara lain harga bahan baku yang tinggi, penyimpanan yang lebih sulit, stabilitas oksidatif rendah, kandungan energi volumetrik yang lebih rendah, operabilitas pada temperatur rendah yang lebih buruk dari petrodiesel, dan, pada beberapa kasus, emisi NO_x lebih banyak (DeOliveira et al. 2006; Knothe, 2008).

2.2 Bahan Baku Pembuatan Biodiesel

2.2.1 Minyak Nabati

Tumbuh-tumbuhan menyimpan energi dalam lemak dan minyak. Minyak diperoleh dari tumbuh-tumbuhan atau tanaman ini adalah disebut minyak nabati. Minyak umumnya terkandung dalam biji-bijian tanaman, misalnya pada tanaman kelapa sawit, jarak, kedelai, kacang tanah, alpukat dan lain sebagainya. Jadi, minyak dari tumbuh-tumbuhan biasanya dapat diperoleh melalui proses ekstraksi beberapa bagian tumbuhan.

Minyak nabati masih memiliki beberapa sifat fisik dan kimia yang berbeda dari bahan bakar diesel. Salah satu proses pengolahan minyak nabati agar menjadi bahan bakar alternatif adalah dengan proses transesterifikasi. Minyak nabati membutuhkan perlakuan berupa proses transesterifikasi terlebih dahulu untuk menjadi biodiesel sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel. Beberapa kelemahan dari minyak nabati ini antara lain menurut Setiawan (2010):

- Viskositas minyak nabati lebih besar dibanding bahan bakar diesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam ruang pembakaran.
- Minyak nabati (trigliserida) memiliki berat molekul jauh lebih besar dari biodiesel (metil ester). Akibatnya, minyak nabati relatif mudah mengalami perengkahan

(*cracking*) menjadi aneka molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).

- Molekul minyak nabati relatif lebih bercabang dibanding metil ester (biodiesel). Akibatnya, angka setana minyak nabati lebih rendah daripada angka setana biodiesel. Angka setana adalah tolok ukur kemudahan menyala/terbakar dari suatu bahan bakar di dalam mesin diesel. Minyak nabati dan biodiesel tergolong ke dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Akan tetapi, minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol atau trigliserida, sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak.

Minyak nabati memiliki komponen yang sangat penting dalam proses pembuatan biodiesel, yaitu:

1. **Trigliserida**

Trigliserida (triasilgliserol atau triasilgliserida) adalah sebuah gliserida, yaitu ester dari gliserol dan tiga asam lemak. Panjang rantai asam lemak pada trigliserida yang terdapat secara alami dapat bervariasi, namun panjang yang paling umum adalah 16, 18, atau 20 atom karbon. Trigliserida banyak terkandung dalam minyak dan lemak serta merupakan komponen terbesar penyusun minyak nabati. Selain trigliserida, terdapat juga monogliserida dan digliserida.

2. **Asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*)**

Asam lemak bebas adalah asam yang di bebaskan pada hidrolisa dari lemak. Asam lemak ini terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Pada pembuatan biodiesel melalui reakso transesterifikasi, asam lemak bebas harus dipisahkan atau dikonversi menjadi alkil ester terlebih dahulu karena asam lemak bebas akan mengkonsumsi katalis. Kandungan asam lemak bebas dalam biodiesel akan mengakibatkan terbentuknya suasana asam yang dapat mengakibatkan korosi pada peralatan injeksi bahan bakar, membuat filter tersumbat dan terjadi sedimentasi pada injector (Setiawan, 2010).

Salah satu jenis tumbuhan yang memiliki potensi besar sebagai sumber trigliserida adalah kelapa sawit. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi yang mengalami pertumbuhan sangat pesat di Indonesia. Kelapa sawit cocok tumbuh di Indonesia yang beriklim tropis. Industri kelapa sawit di Indonesia telah berkembang pesat dengan pertumbuhan luas area perkebunan yang pesat pula, mencapai 6,3 juta hektar berupa 60% perkebunan swasta dan pemerintah dan 40%

perkebunan rakyat (Soetrisno, 2008). Hingga tahun 2007, tercatat 965 perusahaan pemerintah dan swasta dengan luas perkebunan mencapai 3,753 juta hektar. Sementara itu, luas perkebunan rakyat pun berkembang dengan pesat mencapai 2,565 juta hektar, suatu pertumbuhan yang pesat sejak tahun 1979 yang mencatat data luas area sebesar 3.125 hektar. Indonesia pun menduduki peringkat pertama sebagai penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, seperti pada Tabel 2.2 berikut

Tabel 2. 2 Produksi Minyak Kelapa Sawit Dunia dalam % Total Produksi Dunia (Poram, 2011)

Negara	2009	2010	2011
Indonesia	46	48,40	48,79
Malaysia	38,79	37,04	36,75
Thailand	3,00	2,92	2,96
Nigeria	1,90	1,93	1,84
Columbia	1,80	1,64	1,74
Papua Nugini	1,00	1,09	1,08
Ekuador	0,90	0,78	0,82
Pantai Gading	0,80	0,65	0,65
Kamerun	0,70	0,75	0,71
Honduras	0,60	0,60	0,59
Kosta Rica	0,50	0,51	0,51
Brazil	0,50	0,54	0,55
Lain-lain	0,3	3,13	3,04

Potensi minyak kelapa sawit yang cukup tinggi di Indonesia menjadikan minyak kelapa sawit sebagai komoditi yang cukup melimpah di Indonesia. Artikel berita dari The Jakarta Post (2012) mengatakan bahwa pada awal tahun 2012, Produksi minyak kelapa sawit Indonesia sebesar 2,71 juta ton pertahun, mengalahkan Malaysia pada posisi kedua yaitu 2,69 juta ton pertahun.

2.2.2 Metanol

Metanol merupakan jenis alkohol yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel secara komersial karena biaya bahan baku yang lebih

murah dibanding jenis alkohol lainnya. Jenis alcohol lain yang pernah digunakan antara lain etanol, propanol, iso-propanol, dan butanol. Metanol merupakan jenis alkohol yang paling banyak digunakan paa reaksi transesterifikais biodiesel (Moser, 2009).

2.2.3 Kalium Hidroksida (KOH)

Reaksi transesterifikasi umumnya membutuhkan katalis. Katalis jenis *alkaline metla alkoxides* seperti CH_3ONa untuk proses metanolisis adalah katalis yang sangat aktif, dan dapat menghasilkan yield > 98% dalam waktu 30 menit dengan konsentrasi molar yang cukup rendah (0,5 % mol). Katalis jenis alkaline metal hydroxides misalnya KOH dan NaOH memiliki keunggulan yaitu lebih murah dibanding CH_3ONa , akan tetapi lebih kurang aktif. Alternatif untuk menaikkan nilai yield adalah menambahkan konsentrasi katalis sebesar 1 hingga 2 % mol. (Scuchardt et al., 1998).

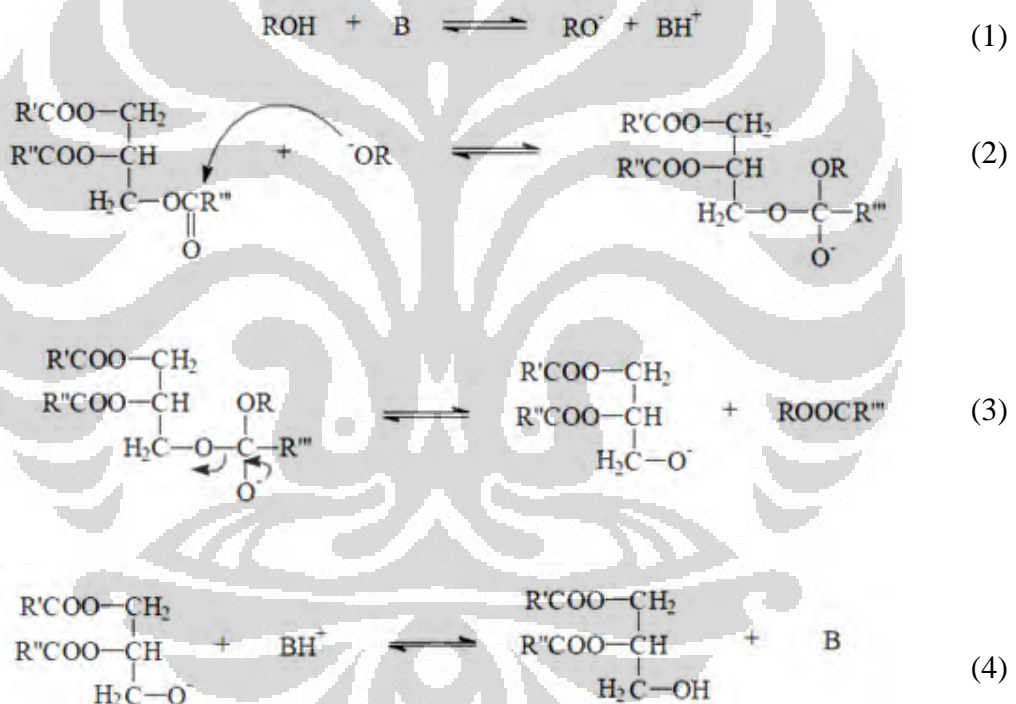
Selain KOH, berbagai jenis katalis banyak digunakan pada pembuatan biodiesel, antara lain katalis asam, campuran katalis basa dan asam, enzim dan sebagainya. Katalis KOH memiliki beberapa keunggulan antara lain biaya katalis yang murah dan pemisahan antara produk akhir yang lebih mudah, seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.3 berikut

Tabel 2. 3 Perbandingan Penggunaan Beberapa Jenis Katalis dalam Pembuatan Biodiesel (Atadashi et al., 2012)

Asam Lemak Bebas (%wt)	Jenis Katalis	Karakter Katalis	Pemisahan Katalis dari Produk	Biaya Katalis	Kondisi Reaksi
<3	Alkaline Catalyst	Efisiensi katalitik yang tinggi, konversi dan yield yang tinggi (>98 %), sedikit korosif	Sulit	Cukup murah	Temperatur menengah, Rasio alkohol : minyak 6:1, waktu reaksi singkat
>3	Acid/alkaline catalyst	Efisiensi tinggi, yield dapat mencapai 98 %	Sulit	Cukup terjangkau	Kondisi reaksi menengah
>3	Solid acid catalyst	Efisiensi katalis lebih rendah dari solid alkaline catalyst tetapi lebih stabil. Dapat digunakan secara simultan untuk reaksi esterifikasi dan transesterifikasi	Mudah dipisahkan dari biodiesel	Biaya tinggi	Kondisi reaksi menengah hingga tinggi
>3	Solid alkaline catalyst	Aktivitas katalis yang lebih tinggi dari Solid acid catalyst, tetapi mudah terdeaktivasi	Mudah dipisahkan	Biaya tinggi	Kondisi reaksi menengah hingga tinggi
>3	Enzymes	Efisien, penggunaan energi yang lebih rendah. Udh terinaktivasi oleh metanol dan terdeaktivasi oleh gliserol. Ada minimum kadar air untuk dapat berjalan secara efektif	Mudah dipisahkan	Biaya tinggi	Kondisi reaksi menengah
>3	Acid catalyst	Aktivitas katalis rendah, sensitif terhadap konsentrasi air	Kurang praktis digunakann	Biaya menengah	suhu dan tekanan rendah, konsentrasi katalis asam tinggi

2.3 Reaksi Transterifikasi Pembuatan Biodiesel

Komponen utama minyak nabati dan hewani adalah *Triacylglycerols* (TAG) atau Trigliserida. Trigliserida ini merupakan salah satu komponen untuk membentuk biodiesel. Untuk menghasilkan biodiesel, minyak nabati atau hewani perlu melalui proses reaksi transesterifikasi. Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester, melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil, metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktivitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis).



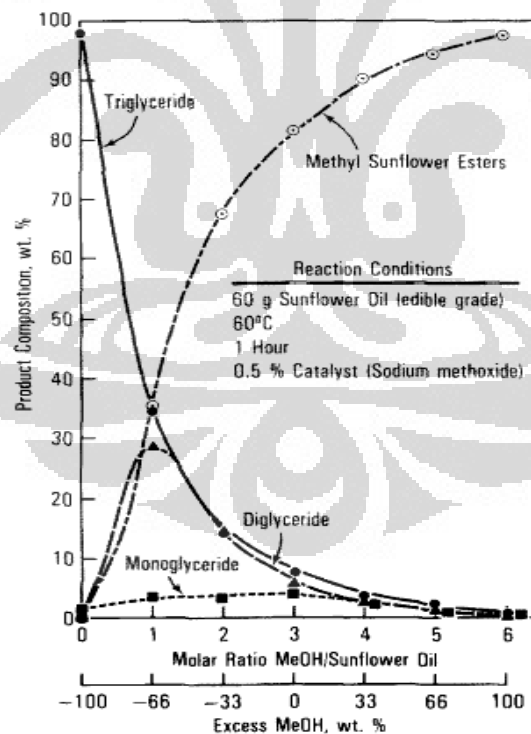
Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi transesterifikasi. (Mekhilef et al, 2010).

Mekanisme reaksi transesterifikasi dengan katalis basa ditunjukkan pada Gambar 2.1. Langkah pertama yaitu reaksi antara basa dengan alkohol membentuk alkoksida dan katalis terprotonasi. Serangan nukleofilik dari alkoksida terhadap grup karbonil trigliserida menghasilkan tertrahedral intermediet . Produk intermediet ini kemudian melepaskan gugus alkil ester dan kembali bereaksi dengan basa terprotonasi membentuk digliserida.

Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam lemak. Menurut Hikmah dan Zuliyana (2010), terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu:

- Menambahkan metanol berlebih ke dalam reaksi
- Memisahkan gliserol
- Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm)

Salah satu variabel mempengaruhi yield dari reaksi biodiesel adalah molar rasio alkohol terhadap minyak nabati yang digunakan. Secara stoikiometri, rasio mol alkohol dan minyak yang digunakan untuk reaksi biodiesel adalah 3:1. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan antara rasio molar alkohol dan minyak nabati dengan yield yang dihasilkan. Perbandingan alkohol dengan minyak nabati sebesar 4,8:1 dapat menghasilkan konversi sebesar 98%. Semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, konversi yang diperoleh akan semakin bertambah. Rasio molar 6:1 setelah 1 jam dapat menghasilkan konversi sebesar 98-99% (Freedman et al, 1984).



Gambar 2. 2 Komposisi Produk Hasil Transesterifikasi Minyak Bunga Matahari untuk Senyawa Triglicerida, Digliserida, dan Monogliserida dengan Variasi Molar Rasio (Freedman et al, 1984).

Rasio molar metanol dan minyak yang tinggi untuk menghasikan konversi biodiesel yang semakin tinggi tentunya akan menambah kebutuhan metanol dalam proses. Hal ini akan berdampak terhadap keekonomisan dari proses pembuatan biodiesel itu sendiri.

Proses reaksi biodiesel dengan suhu terlalu rendah berakibat pada ketidakefisienan waktu juga biaya. Selain itu, titik didih metanol yang cukup rendah yaitu 65°C juga merupakan kendala karena metanol ini mudah menguap dan berubah fasa menjadi gas. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang dapat mencampurkan bahan lebih efisien.

2.4 Jet Column Reactor (Reaktor Kolom Pancaran)

Kolom pancaran merupakan peralatan yang digunakan untuk mendapatkan pencampuran yang paling efisien antara gas dan cair dan juga antara cair dan cair (Sommerfeld dan Broder, 2009). Kemampuan dari kolom pancaran dibatasi oleh koefisien perpindahan massanya. Salah satu faktor yang mempengaruhi koefisien perpindahan massa pada kolom pancaran adalah kecepatan keluaran fluida dari pancaran. Bertambahnya kecepatan keluaran fluida dari pancaran akan meningkatkan koefisien perpindahan massa (Nosratinia et al. 2010).

Pada kolom pancaran terdapat tiga daerah hidrodinamika, yaitu daerah pancaran bebas (*free jet zone*), daerah pancaran jatuh (*plunging jet zone*) dan daerah aliran dua fasa yang seragam (*uniform two-phase flow jet*) seperti pada Gambar 2.3. Lubang cairan yang berbentuk seperti terompet terjadi di daerah pancaran bebas dan pada daerah pancaran jatuh, gas akan terhisap ke dalam kolom gelembung. Pada kedua daerah tersebut akan terjadi pusaran Eddy. Sedangkan pada daerah aliran dua fasa yang seragam, fasa gas akan terdispersi merata ke dalam fasa cair (Liu dan Evans, 1990).

Gambar 2. 3 Tiga Daerah Hidrodinamika pada Kolom Pancaran.

Menurut Lee dan Tsui (1999) Terdapat tiga hal utama dalam pemilihan alat pencampuran antara lain:

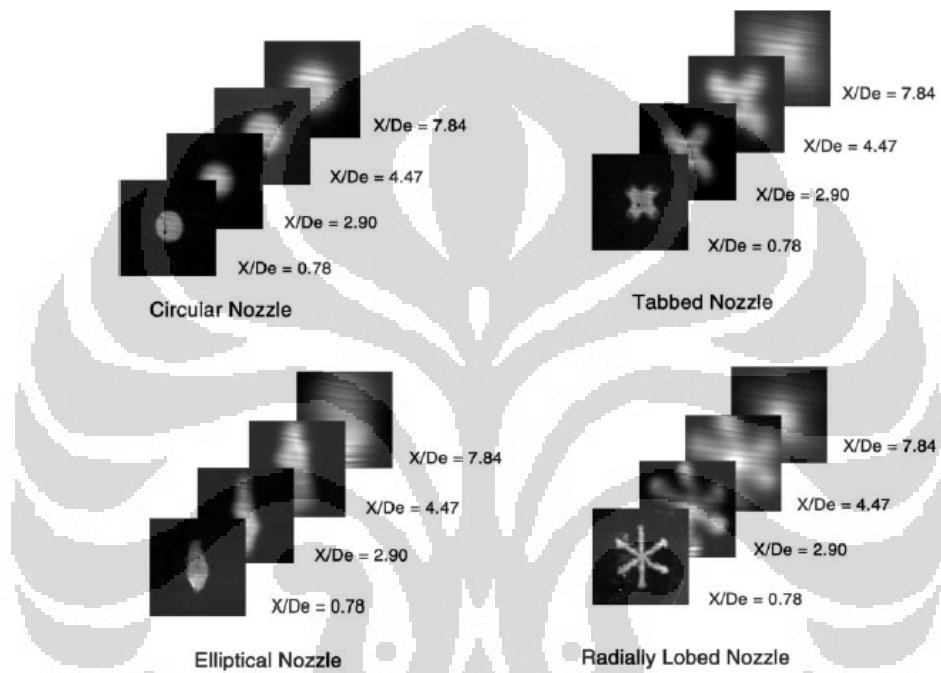
1. Aspek mekanika fluida, bagaimana bentuk fisik dan geometri alat dapat memaksimalkan distribusi dan aliran fluida, peningkatan intensitas pencampuran, serta laju perpindahan panas dan massa yang ada selama proses pencampuran
2. Ketahanan peralatan, seperti tingkat korosi yang rendah.
3. Kinetika, jika ada reaksi kimia yang terjadi di dalam proses pencampuran, maka reaksi tersebut akan mempengaruhi secara intrinsik laju reaksi yang diperoleh.

Jet column reactor memberikan nilai koefisien perpindahan massa (k_{LA}) lebih tinggi dibanding peralatan lain seperti packed column, plate column dan lainnya. Selain itu luasan kontak cukup tinggi pada kisaran 1000~7000 m^2/m^3 . Alat ini pun memiliki nilai koefisien perpindahan massa yang tinggi dibanding kolom biasa (Lee dan Tsui, 1999).

Kolom pancaran memiliki beberapa keuntungan antara lain perancangan yang sederhana, pengoperasian dan pemeliharaan yang mudah, volume reaktor yang dibutuhkan kecil, ukuran diameter gelembung yang terdispersi ke dalam cairan kecil, luas area spesifik antar fasa besar, serta dapat memperoleh koefisien perpindahan massa yang sangat besar apabila dibandingkan dengan jenis kolom gelembung konvensional (Ide, et al. 2001).

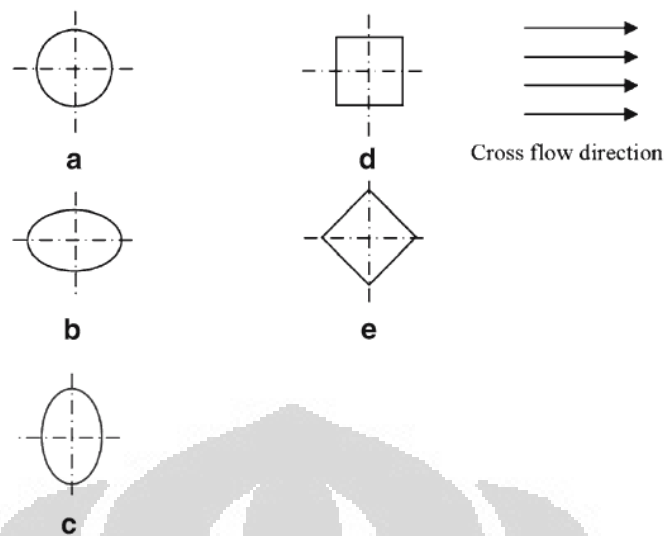
2.5 Pemilihan *Elliptical Jet*

Penggunaan elliptical jet untuk meningkatkan proses pencampuran pernah dilakukan oleh Schadow , Gutmark dan Wilson (1990) yang menemukan bahwa *elliptical jet* menghasilkan *entrainment* yang lebih baik karena luasnya laju penyebaran aliran di daerah axis dan fenomena *axis switching*. Ramesh et. al., (2000) meneliti tentang perbandingan empat buah jenis jet yaitu circular, elliptic, tabbed, dan lobed jet seperti pada Gambar 2.4 berikut



Gambar 2. 4 Berbagai Bentuk Penampang Jet dan Pola Airan yang Dihasilkan (Ramesh et. al., (2000).

Sedangkan Salewski, Stankovic, Fuchs (2007) meneliti tentang penggunaan beberapa jenis jet pada kolom pancaran seperti pada Gambar 2.5 berikut



Gambar 2.5 Berbagai Bentuk Penampang Jet a) Circular, b) Elliptic Low Aspect Ratio, c) Elliptic High Aspect Ratio, d) Square, e) Diamond Shape (Salewski, Stankovic, Fuchs 2007).

Jet *noncircular* menghasilkan pusaran yang lebih kecil pada proses pencampuran akan tetapi dapat meningkatkan difusi momentum hingga dihasilkannya pola turbulen yang akan meningkatkan perpindahan massa (Salewski, Stankovic, Fuchs, 2007). Gambar di bawah ini menunjukkan jarak penetrasi pancaran untuk berbagai jenis jet . Pada Gambar 2.6, terlihat bahwa *elliptical jet* memiliki jarak penetrasi pancaran lebih tinggi dibanding jenis *circular* dan *tabbed* untuk luas penampang permukaan yang sama. Penelitian ini menggunakan tipe jet *elliptic* dengan aspek rasio yang tinggi. Aspek rasio merupakan rasio antara lebar dan panjang dari suatu penampang jet.

Gambar 2.6 Efek Jet dan jarak penetrasi pancaran variasi *Circular, Tabbed, Elliptical*, dan *Radiantly Lobed Jet* (Ramesh et. al., 2000)

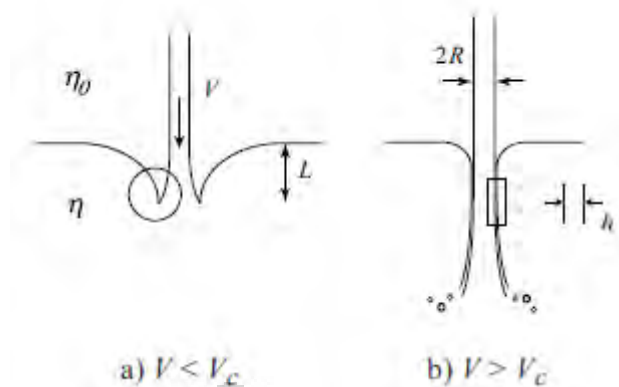
2.6 Studi Hidrodinamika pada Reaktor Kolom Pancaran

Hidrodinamika merupakan bagian ilmu fisika yang berhubungan dengan cairan yang bergerak dan tenaga yang menggerakannya. Proses pencampuran pada kolom pancaran memiliki karakteristik tersendiri dibanding proses pencampuran menggunakan peralatan lain.

Prinsip operasi kolom pancaran adalah menghasilkan energi kinetik pada kecepatan jet yang tinggi. Kolom ini memanfaatkan geseran antara partikel-partikel fluida karena adanya gradien kecepatan dengan menumbukkan fluida yang keluar dari jet ke dalam fluida yang ada di dalam kolom. Aliran fluida dari keluaran jet akan menghasilkan tumbukan, baik antar partikel dalam masing-masing fluida maupun antar fluida dengan dinding kolom. Adanya tumbukan ini akan mengakibatkan perpindahan partikel di dalam campuran dalam kolom. Semakin cepat aliran jet yang mengalir, semakin tinggi turbulensi dari perpindahan partikel dalam campuran. Adanya turbulensi akan menghasilkan energi kinetik yang tinggi pula dan mendesak partikel fluida di sekitar aliran pancaran untuk mengalami perpindahan massa (Supramono and Setiadi, 2011).

Peningkatan kecepatan jet pada kondisi diameter jet yang tetap, akan meningkatkan momentum, pencampuran dan turbulensi., maka perpindahan massa pun otomatis akan meningkat. (Nosratinia, 2010). Pada proses pencampuran dengan menggunakan jet, pompa yang ada digunakan untuk memompa fluida dan menghasilkan kecepatan yang tinggi melewati sebuah nozzle di dalam kolom. Jet menarik fluida di sekitarnya dan menghasilkan pola sirkulasi aliran yang mengarah kepada pencampuran. Kecepatan relatif antara fluida yang keluar dari jet dengan fluida statis menghasilkan turbulent mixing layer (Saravanan et. al., 2010).

Fenomena *entrainment* seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 terjadi pada kolom pancaran. Apabila viskositas tinggi, maka *entrainment* akan terjadi secara spontan dengan menghasilkan lapisan film udara (Eggers, 2004). Pada kecepatan yang rendah dan konstan, pola aliran akan mengikuti aliran jet yang tercelup. Ketika kecepatan dinaikkan di atas nilai kecepatan *threshold* (*threshold velocity*), maka lapisan film cairan-gas akan terhisap (*entrained*) oleh jet dan masuk ke dalam fluida statis di dalam kolom.



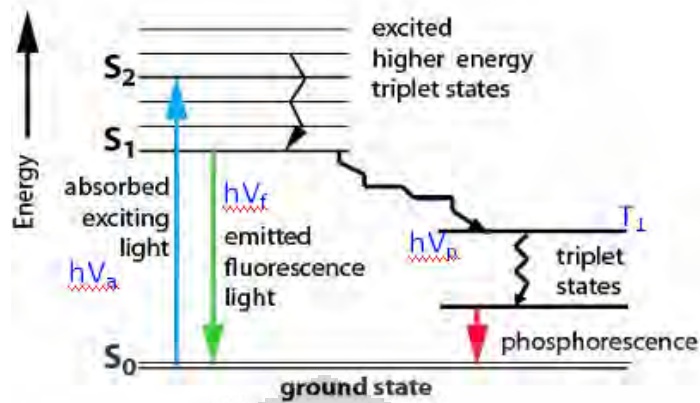
Gambar 2.7 Peristiwa *Entrainment* pada Kolom Pancaran. a) Kecepatan jet di bawah nilai kecepatan threshold ($V < V_c$), b) Kecepatan jet di atas nilai kecepatan threshold ($V > V_c$) sehingga jet menghisap lapisan film udara pada ketebalan h (Lorenceanu, Quere, dan Eggers, 2004).

Lapisan film udara ini akan membentuk gelembung udara. Semakin kecil ukuran gelembung maka laju perpindahan massa semakin tinggi (Supramono and Setiadi 2011). Gelembung ini akan pecah akibat adanya *shear* (*velocity gradient*) yang ditimbulkan oleh jet (Evans 1990). Penelitian ini meminimalisir efek dari gelembung, karena gelembung yang ada dianggap noise pada pengamatan visualisasi aliran. Jet yang digunakan dicelupkan ke dalam fasa cairan, sehingga level jet berada di bawah level fluida, untuk meminimalisir adanya gelembung.

2.7 Metode *Planar Laser Induced Fluorescence* (PLIF)

Metode PLIF banyak digunakan untuk melihat pola aliran dalam suatu proses pencampuran berupa persebaran konsentrasi dan suhu. Fluoresensi adalah proses pemancaran radiasi cahaya oleh suatu materi setelah tereksitasi oleh berkas cahaya berenergi tinggi. Emisi cahaya terjadi karena proses absorpsi cahaya oleh atom yang mengakibatkan keadaan atom tereksitasi. Proses terjadinya fluoresensi yaitu sebagai berikut:

1. Sebuah energi sebesar $h\nu_a$ disuplai oleh sumber eksternal seperti lampu pijar atau laser. Zat fluoresensi akan menyerap sinar ini. Atom atau molekul yang mengabsorpsi energi ini akan berpindah dari keadaan dasar (S_0) menuju tingkat yang lebih tinggi (S_1). Gambar 2.8 menunjukkan tingkatan energi proses fluoresensi

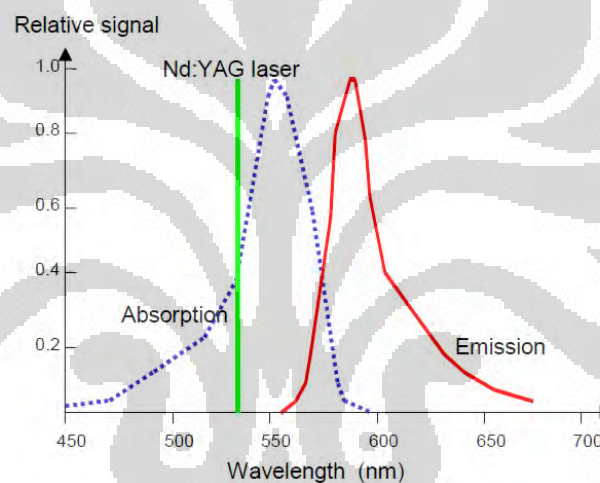


Gambar 2.8 Diagram Jablonski Proses Fluoresensi.

2. Keadaan tereksitasi ada untuk waktu yang terbatas (biasanya 1-10 nanodetik). Pada keadaan ini, zat fluoresensi mengalami perubahan konformasi dan memungkinkan interaksi dengan lingkungan molekulnya. Proses ini memiliki dua komponen penting. Pertama, energi untuk mencapai keadaan S₁ sebagian hilang, menghasilkan keadaan tereksitasi tunggal (S₁) dari emisi fluoresensi. Kedua, tidak semua molekul tereksitasi oleh proses absorpsi seperti pada tahap pertama. Ada foton yang kembali ke keadaan dasar (S₀) dengan melakukan emisi fluoresensi. Hasil kuantum fluoresensi, yang merupakan rasio dari jumlah foton yang dipancarkan fluoresensi pada tahap 3 terhadap jumlah foton yang diserap pada tahap 1 merupakan ukuran sejauh mana proses ini terjadi.
3. Foton akan mengalami konversi internal atau relaksasi pada keadaan S₁. Kemudian foton tersebut akan melepaskan sejumlah energi sebesar $h\nu_f$ yang berupa cahaya. Oleh karena adanya energi yang hilang, maka foton akan kembali menuju ke tingkat energi dasar S₀ untuk mencapai keadaan suhu yang setimbang. Emisi fluoresensi dalam bentuk spectrum lebar terjadi karena perpindahan energi dari tingkat S₁ menuju keadaan dasar S₀ yang berbeda-beda.

Metode PLIF membutuhkan peralatan khusus untuk melakukan pengamatan hidrodinamika berupa proses pencampuran dari dua atau lebih larutan. Peralatan dasar yang dibutuhkan untuk melaksanakan planar-LIF pengukuran adalah:

1. Sebuah sumber laser (umumnya Nd: YAG atau Argon-ion laser) dengan optik yang tepat untuk membentuk lembaran tipis cahaya (biasanya digunakan lensa plano konkaf dan plano konvek)
2. Sebuah pewarna fluoresens yang menandakan adanya proses pencampuran. Senyawa kimia menyerap energi cahaya laser dan kembali memancarkan cahaya pada panjang gelombang lagi yang dapat dideteksi oleh photodetektor. Pewarna yang umum digunakan untuk pengukuran dalam PLIF adalah rhodamin 6G, rhodamine B dan *fluorescein dinatrium*
3. Sebuah kamera yang dilengkapi dengan *filter cut-off*, sehingga hanya panjang gelombang tertentu yang bisa direkam. Kamera ini bertindak sebagai detektor cahaya

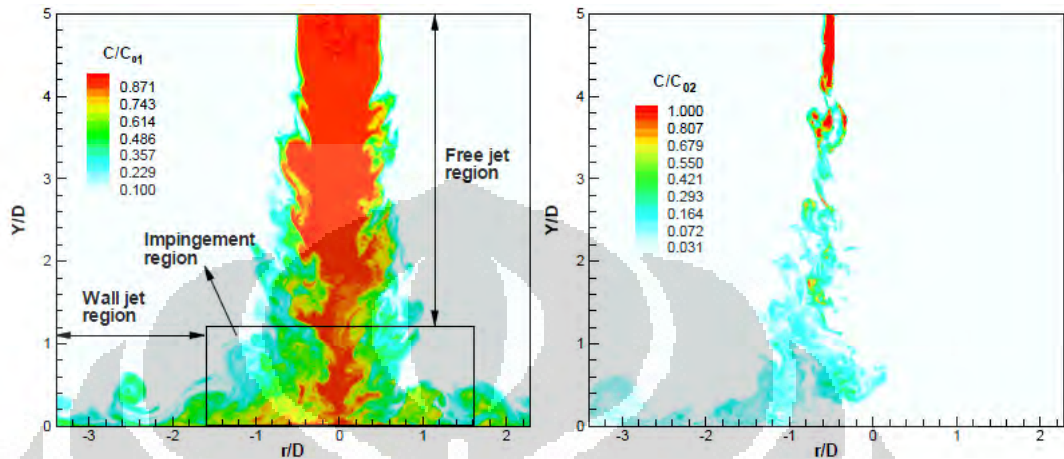


Gambar 2.9 Rentang Spektra Absorpsi dan Emisi dari suatu Zat Fluoresense (Dantec Dynamic, 2002).

Berdasarkan Gambar 2.9 di atas, spektrum energi absorpsi berada pada panjang gelombang 460 – 590 nm dengan puncak 520 nm. Spektrum fluoresense berada pada 550 dan 650-670 nm. Untuk mengurangi adanya spektrum yang bertabrakan pada daerah absorpsi. Maka sinyal yang ditangkap oleh fluoresense disaring dengan menggunakan *filter cut off* 550/570 nm. Sehingga cahaya laser dapat diblok dan hanya cahaya fluoresense yang ditangkap oleh kamera. (Dantec Dynamic, 2002)

Metode PLIF pernah dilakukan untuk dua jenis injeksi rhodamine yang berbeda yaitu *local injection* dan *premixed injection*. *Premixed injection* dapat memberikan data visualisasi pola aliran turbulen yang rendah pada daerah tengah

kolom. Sedangkan local injection, efek ini tidak dapat terlihat (Ding, R., Revstedt, dan Fuchs, L. (2003). Gambar 2.10 menunjukkan sebaran konsentrasi dan pola aliran pada masing-masing jenis injeksi rhodamine B.



Gambar 2.10 Metode Injeksi Rhodamine B pada Kolom Pancaran, sebelah kiri menunjukkan pola aliran untuk *premixed injection* dan sebelah kanan untuk *local injection*. (Ding, R., Revstedt, dan Fuchs, L. 2003).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan yaitu studi hidrodinamika dan reaksi pembuatan biodiesel dengan menggunakan kolom pancaran. Studi hidrodinamika dilakukan untuk mendapatkan visualisasi pola aliran campuran dalam kolom. Metode yang digunakan yaitu metode *Planar Laser Induced Fluorescence* (PLIF). Rhodamine B diinjeksikan untuk melihat pola aliran proses pencampuran di dalam kolom. Cahaya laser hijau ditembakkan dalam kolom dan akan direkam oleh kamera resolusi tinggi. Dengan menggunakan *Long Wave Pass Filter*, panjang gelombang yang terserap hanya panjang gelombang sesuai spesifikasi pengamatan PLIF yaitu lebih dari 550 nm. S

Untuk mengamati visualisasi aliran proses pencampuran, diharapkan tidak terjadi reaksi antara bahan yang digunakan dan tidak terbentuk gelembung karena gelembung-gelembung yang mungkin terjadi akan memberikan citra palsu pola aliran yang sebenarnya. Simulasi proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan mengganti CPO dan metanol dengan campuran gliserol dan air yang memiliki viskositas sama. Variasi yang akan dilakukan adalah kecepatan pancaran jet dan viskositas fluida (rasio mol CPO dan metanol). Penelitian ini mencari kondisi optimum pancaran jet untuk mencapai proses pencampuran.

Kondisi optimum yang didapatkan pada studi hidrodinamika reaksi biodiesel akan digunakan untuk meneliti proses reaksi biodiesel dengan reaktan sebenarnya yaitu CPO dan metanol. Penelitian ini ditujukan untuk mengukur % *yield* biodiesel yang dihasilkan dari kolom pancaran yang selanjutnya akan dianalisis dengan metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Selain itu dilakukan uji hasil biodiesel dari reaksi antara lain uji kadar air, uji bilangan asam, dan uji densitas.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu,

1. Variabel bebas

Variabel bebas, yaitu variabel yang menjadi variasi di dalam penelitian dimana diharapkan diperoleh suatu kecenderungan hasil dan kesimpulan yang tepat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah rasio mol metanol dan CPO yang digunakan pada proses pencampuran yaitu 4:1; 5:1 dan 6:1. Variabel bebas lainnya yaitu kecepatan jet yang digunakan yaitu 5, 8, dan 11 m/s

2. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu karakteristik biodiesel meliputi uji kadar air, bilangan asam, densitas, dan uji HPLC.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Visualisasi Aliran dengan Metode PLIF

Bahan yang digunakan untuk visualisasi aliran untuk fluida simulasi pembuatan biodiesel adalah sebagai berikut:

1. Air
2. Gliserol
3. Rhodamine B.

Air dan gliserol digunakan sebagai fluida simulasi pada proses pencampuran, menggantikan metanol dan CPO yang merupakan fluida sebenarnya pada reaksi sintesis biodiesel. Rhodamine B diinjeksikan ke dalam campuran air dan gliserol untuk melihat sebaran level emisi rhodamine di dalam campuran, yang nantinya akan menjadi indikator pada proses pencampuran. Tabel 3.1 menjelaskan mengenai peralatan yang digunakan serta kegunaanya masing-masing.

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan pada visualisasi aliran dengan metode PLIF

No.	Jenis Alat	Kegunaan Alat
1.	Kolom Pancaran	Sebagai tempat berlangsungnya visualisasi aliran
2.	Pompa	Untuk mengalirkan fluida cair ke dalam kolom gelembung pancaran.
3.	<i>Valve</i>	Untuk mengatur laju alir
4.	<i>High speed camera</i>	Untuk merekam pengambilan gambar dan video
5.	Laser generator 500 mV power, tipe DSPS 532nm	Sebagai sumber cahaya yang akan ditembakkan ke dalam kolom
6.	<i>Long Wave Pass Filter 550 nm</i>	Untuk menyerap panjang gelombang diatas 550 nm dari pengambilan gambar
7.	Lensa <i>cylindrical plano concave</i> dengan panjang fokus -25mm	Untuk membuat <i>light sheet</i> dari sumber laser untuk
8.	lensa <i>cylindrical plano convec</i> dengan panjang fokus 150mm	Untuk memfokuskan <i>light sheet</i> sehingga ketebalan <i>sheet</i> 2mm tercapai.
9.	Gelas ukur 1 L	Untuk mengukur volume larutan yang digunakan
10.	Injektor rhodamine B	Untuk menginjeksikan rhodamine B ke dalam kolom
11.	<i>Goggle</i> khusus	Untuk melindungi mata dari sinar laser dengan kekuatan 600 wat

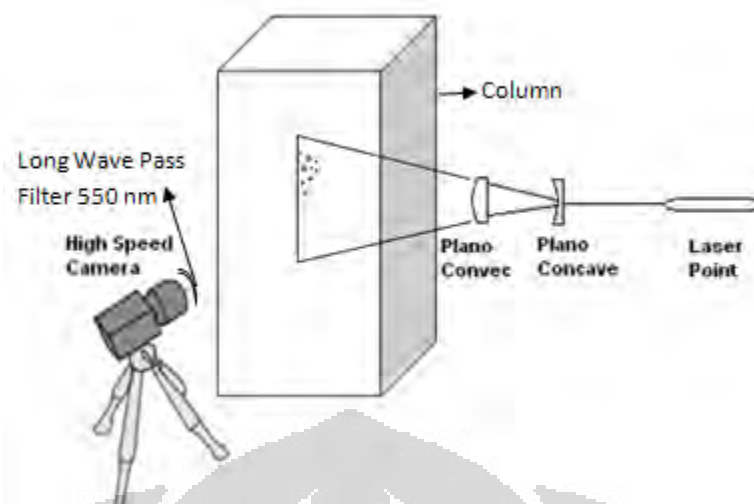
Skema rangkaian peralatan kolom pancaran seperti pada Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Skema Alat Kolom Pancaran.

Keterangan bagian gambar

1. Pompa, untuk memberikan energi agar fluida mengalir
2. *Valve* untuk mengatur besarnya keluaran fluida dari pompa
3. *Valve* untuk mengatur partisi keluaran fluida dari pompa agar kerja pompa tidak terlampaui berat mengalirkan air ke bagian atas.
4. Pengukur besarnya laju alir (*flowmeter*)
5. Kolom Pancaran sebagai tempat reaksi dan pencampuran terjadi
6. Pipa penyalur udara (pencegah kavitasi pada pompa akibat gelembung)
7. Keran untuk mengeluarkan fluida dari dalam kolom
8. Lubang untuk memasukkan fluida ke dalam kolom.



Gambar 3.2 Skema Pengambilan Sampel Video untuk Visualisasi Aliran pada Kolom Pancaran.

Gambar 3.2 menunjukkan skema pengambilan video untuk melihat visualisasi aliran pada proses pencampuran di dalam kolom. Lensa plano konkaf dan plano konveks diletakkan di depan laser untuk membuat *laser sheet* pada kolom. *Long Wave Pass Filter 550 nm* diletakkan di depan kamera untuk memblokir panjang gelombang di bawah 550 nm untuk dibaca dan terekam oleh kamera.

3.3.2 Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Kolom Pancaran

Bahan yang digunakan untuk proses pembuatan biodiesel dengan

1. Metanol
2. Minyak Kelapa Sawit
3. KOH
4. Na_2SO_4 .

Metanol dan minyak kelapa sawit merupakan bahan utama untuk menghasilkan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi. Penggunaan katalis KOH untuk membandingkan antara reaksi nonkatalitik dan katalitik. Na_2SO_4 digunakan sebagai anhidrat untuk mengurangi kadar air dalam produk biodiesel. Sedangkan peralatan yang digunakan pada reaksi pembuatan biodiesel dijelaskan pada Tabel 3.2 berikut

Tabel 3. 2 Peralatan yang digunakan pada Reaksi Pembuatan Biodiesel

No.	Jenis Alat	Kegunaan Alat
1.	Kolom Pancaran	Sebagai tempat berlangsungnya reaksi pembuatan biodiesel
2.	Pompa	Untuk mengalirkan fluida cair ke dalam kolom gelembung pancaran.
3.	<i>Valve</i>	Untuk mengatur laju alir
4.	Beaker Glass 100 mL dan 1 L	Untuk melakukan pencampuran antara katalis dan metanol dan sebagai wadah sementara
5.	Gelas ukur 1 L dan 10 ml	Untuk mengukur volume larutan
6.	Cawan keramik	Untuk wadah penguapan kadar air dalam biodiesel
7.	Oven pemanas	Untuk menguapkan kadar air dalam biodiesel
8.	Piknometer	Untuk menghitung densitas biodiesel
9.	Batang kaca pengaduk	Untuk melakukan pengadukan antara katalis dan metanol
10.	Viskometer Ostwald	Untuk mengukur viskositas

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Uji Operasi Kolom

Tahap ini meliputi uji aliran dan kebocoran pada rangkaian alat. Uji aliran dan kebocoran dilakukan untuk menguji kelayakan operasi rangkaian alat. Langkah-langkah yang dilakukan untuk uji aliran dan kebocoran yaitu:

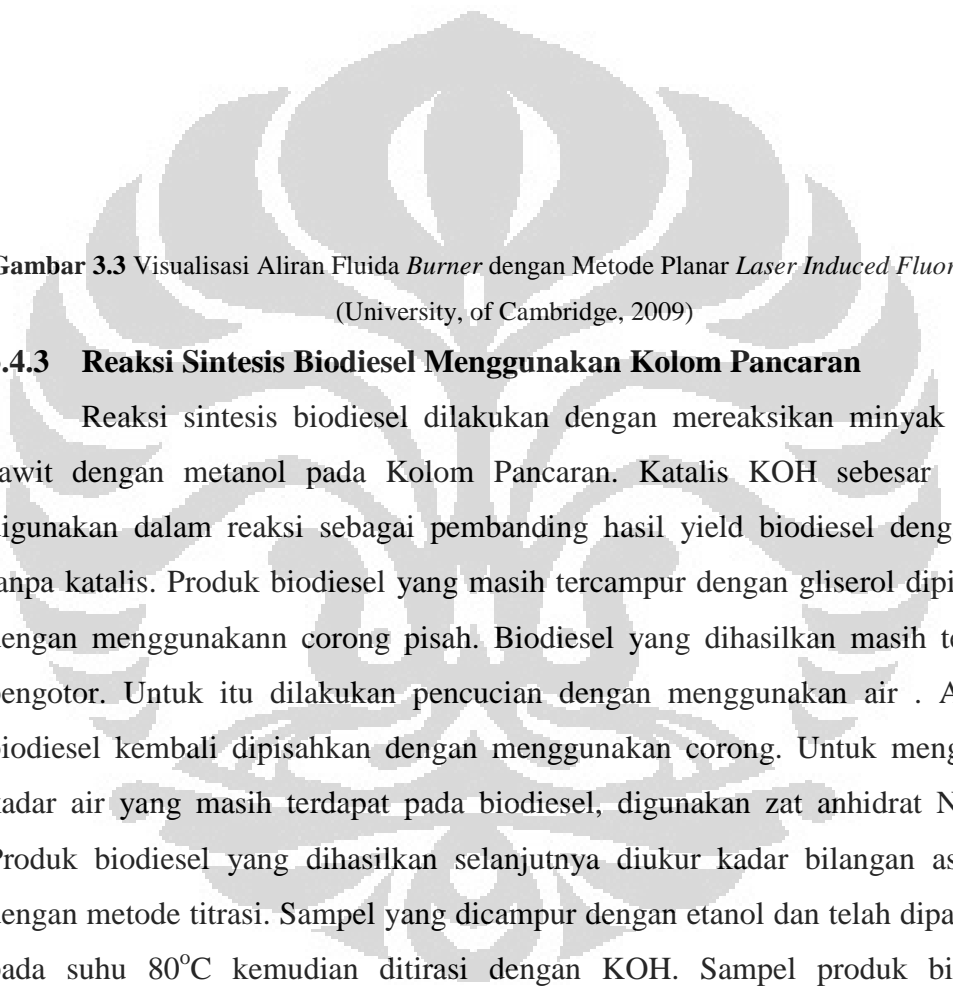
1. Menutup semua *valve* pada rangkaian alat.
2. Memasukkan air ke dalam kolom gelembung sampai diperoleh ketinggian cairan yang diinginkan.
3. Membuka *valve* 1 dan *valve* 2 lalu menyalakan pompa dan mengamati apakah ada sambungan-sambungan yang mengalami kebocoran.
4. Mengencangkan sambungan-sambungan yang mengalami kebocoran atau bisa dengan menambahkan isolasi pipa.

3.4.2 Pengoperasian Rangkaian Alat Studi Hidrodinamika Kolom Pancaran

Pengoperasian rangkaian alat bertujuan untuk analisis pengujian hidrodinamika dan konversi reaksi pembuatan biodiesel. Prosedurnya sebagai berikut:

1. Membersihkan kolom pancaran menggunakan air dengan membuka aliran pada bagian bawah kolom.
2. Mengisi kolom gelembung pancaran dengan campuran gliserol dan air yang memiliki viskositas sama dengan CPO dan metanol untuk tiap variasi mol .
3. Memasang *laser point* yang direfleksikan ke lensa plano konkaf dan plano konveks di sisi sebelah kanan kolom pancaran\
4. Memasang kamera kecepatan tinggi dan *long wave pass filter* 550 nm di depan lensa kamera
5. Melakukan pengujian *lasersheet* yang dipancarkan ke arah kolom pancaran untuk mendapatkan posisi yang cocok dengan sumber laser
6. Mengoperasikan kolom pancaran dengan menyalakan stop kontak otomatis untuk memompa campuran bahan agar keluar dari kolom pancaran dan bersikulasi dalam proses pencampuran.
7. Menginjeksikan cairan Rhodamine B ke dalam aliran fluida di kolom bersamaan dengan mulainya pengoperasian alat
8. Merekam dalam bentuk video hasil pengamatan visualisasi aliran selama jangka waktu tertentu pada kolom dengan kamera pada ruang gelap dengan sumber laser kontinyu berdaya sedang (500 mW)
9. Melakukan pengambilan video untuk setiap variasi rasio mol metanol-minyak (6:1, 5:1, 4:1, 3:1) dan setiap variasi jet velocity (1-15 m/sec)
10. Melakukan pengamatan visualisasi aliran untuk studi hidrodinamika hingga didapat kondisi homogen pada kolom

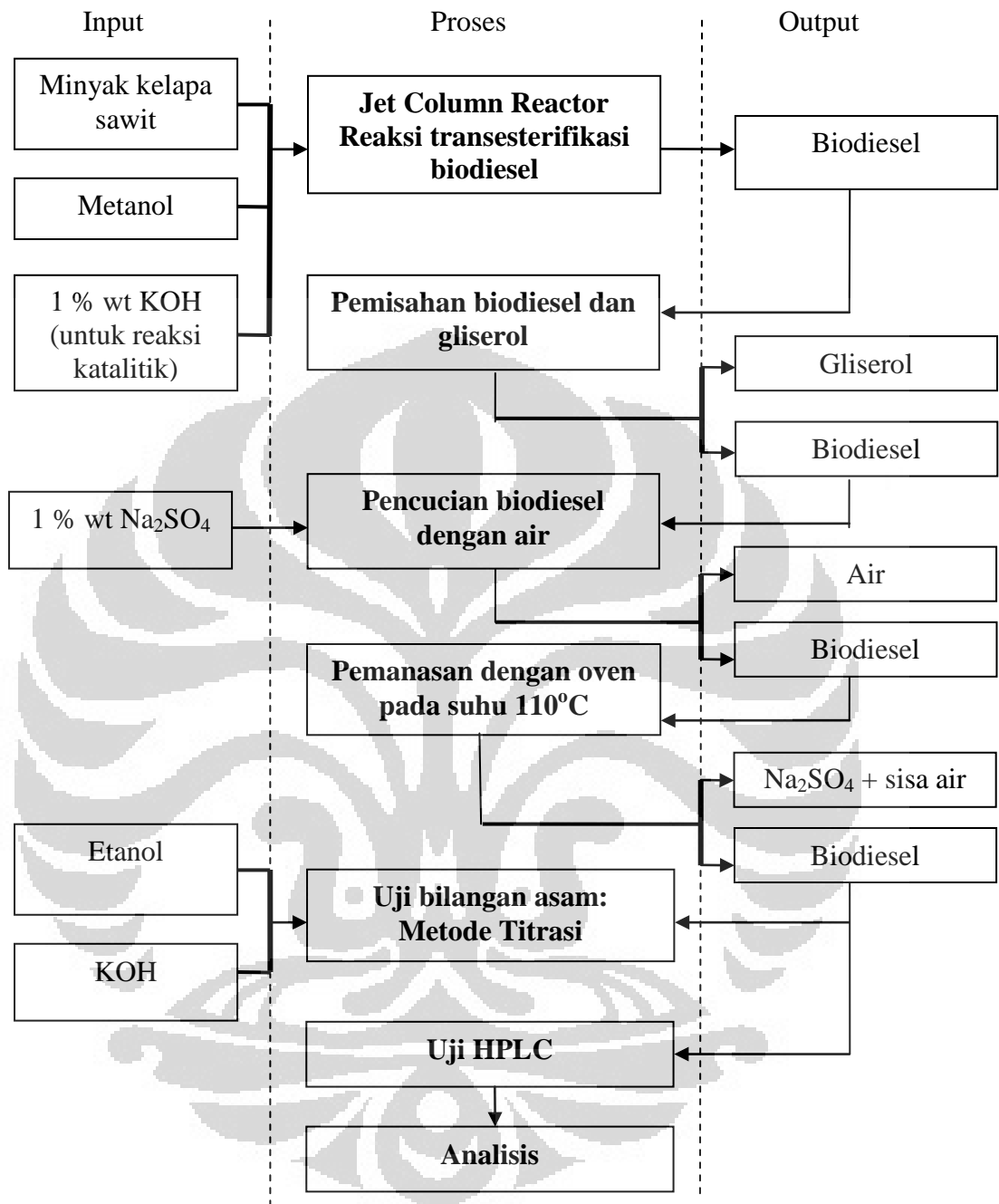
Gambar 3.3 berikut menjelaskan bagaimana metode *Planar Laser Induced Fluorescence* dilakukan. Daerah yang terkena laser sheet direkam dengan menggunakan kamera yang telah dipasang sebuah filter. Data yang didapat nantinya berupa video dan gambar hasil proses pencampuran.



Gambar 3.3 Visualisasi Aliran Fluida *Burner* dengan Metode Planar *Laser Induced Fluorescence* (University, of Cambridge, 2009)

3.4.3 Reaksi Sintesis Biodiesel Menggunakan Kolom Pancaran

Reaksi sintesis biodiesel dilakukan dengan mereaksikan minyak kelapa sawit dengan metanol pada Kolom Pancaran. Katalis KOH sebesar 1 % wt digunakan dalam reaksi sebagai pembanding hasil yield biodiesel dengan dan tanpa katalis. Produk biodiesel yang masih tercampur dengan gliserol dipisahkan dengan menggunakan corong pisah. Biodiesel yang dihasilkan masih terdapat pengotor. Untuk itu dilakukan pencucian dengan menggunakan air . Air dan biodiesel kembali dipisahkan dengan menggunakan corong. Untuk mengurangi kadar air yang masih terdapat pada biodiesel, digunakan zat anhidrat Na_2SO_4 . Produk biodiesel yang dihasilkan selanjutnya diukur kadar bilangannya dengan metode titrasi. Sampel yang dicampur dengan etanol dan telah dipanaskan pada suhu 80°C kemudian ditirasi dengan KOH. Sampel produk biodiesel dianalisa dengan menggunakan metode uji HPLC untuk mengetahui konversi trigliserida dan yield biodiesel. Gambar 3.4 menunjukkan proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit menggunakan kolom pancaran.



Gambar 3.4 Diagram Alir Reaksi Pembuatan Biodiesel dengan Kolom Pancaran

3.4.3 Pengujian Kualitas Produk Biodiesel

3.4.3.1 Uji Kadar Air

Prosedur perhitungan kadar air ini adalah sebagai berikut.

1. Memanaskan wadah kosong dalam oven di suhu 110°C selama 10 menit.
2. Memasukkan wadah tersebut ke dalam desikator.
3. Menimbang massa wadah yang telah mengalami pemanasan tadi.
4. Memasukkan sampel ke dalam wadah yang telah dipersiapkan sebelumnya kemudian menimbang massanya.
5. Memanaskan wadah yang berisi sampel dalam oven dengan suhu 110°C selama 30 menit.
6. Memasukkan wadah yang berisi sampel ke dalam desikator setelah mengalami pemanasan.
7. Menimbang kembali sampel tersebut.
8. Menghitung selisih massa antara sampel sebelum pemanasan dan sesudah pemanasan.
9. Massa yang hilang tersebut adalah kadar air yang terdapat pada sampel.

3.4.3.2 Uji Bilangan Asam

Prosedur perhitungan bilangan asam adalah sebagai berikut.

1. Menimbang massa sampel biodiesel sebanyak 10 gram.
2. Melarutkan sampel tersebut dengan alkohol sebanyak 50 mL dengan cara dipanaskan di atas *hotplate* sambil diaduk.
3. Meneteskan larutan PP sebanyak 2% wt.
4. Mentitrasi larutan tadi dengan KOH 0,1 N hingga larutan berubah warna dari bening menjadi merah keunguan dan mencatat volume titran KOH yang dibutuhkan.
5. Menghitung bilangan asam sampel dengan menggunakan persamaan

(3.1)

3.4.3.3 Uji HPLC

Sampel hasil produk biodiesel dianalisis dengan menggunakan rangkaian alat HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*) milik Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT. Alat ini menggunakan kolom *Licrospehere RP18* dengan menggunakan fasa bergerak adalah metanol dan isopropanol heksana (perbandingan 5:4). Temperatur operasi yang digunakan adalah temperatur ambient. Detektor yang digunakan adalah detektor UV dengan panjang gelombang 205 nm.

3.5 Teknik Analisis dan Penyimpulan Data

Sampel yang diperoleh dari hasil percobaan akan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

3.5.1 Analisis Kualitatif

Pengamatan kualitatif studi hidrodinamika berupa pengamatan visualisasi aliran yang turbulen. Ketika Rhodamine B diinjeksikan ke dalam kolom dan cahaya laser hijau menembus kolom, maka zat rhodamine akan terlihat berpendaran di dalam kolom. Perpendaran ini menandakan *mixing* mulai terjadi. Pengamatan dilakukan dengan merekam proses pencampuran. Metode *Planar Laser Induced Fluorescence* akan menyerap cahaya laser hijau dengan panjang gelombang lebih dari 550 nm. Untuk itu digunakan *Long Wave Pass Filter* > 550 nm. Saat warna Rhodamine B mulai homogen di dalam campuran menandakan proses pencampuran sudah terjadi.

Sedangkan untuk analisis reaksi biodiesel menggunakan kolom pancaran, pengamatan kualitatif dilakukan dengan cara melihat larutan produk akhir hasil pembuatan biodiesel di reaktor *jet column*. Analisa awal dengan memperhatikan terbentuk/tidaknya dua lapisan yang berbeda warna. Kedua lapisan tersebut adalah metil ester (biodiesel) di lapisan atas dan gliserol dilapisan bagian bawah. Jika tidak terbentuk maka hasil tersebut dapat dikatakan kurang berhasil.

3.5.2 Analisa Kuantitatif Studi Hidrodinamika berupa Visualisasi Aliran dengan Metode PLIF

Rekaman dalam bentuk video selama pengamatan visualisasi aliran pencampuran rhodamine B ke dalam campuran gliserol-air elanjutnya diproses dengan menggunakan perangkat lunak *VirtualDub* yang memotong video menjadi gambar-gambar pola aliran. Gambar aliran tersebut kemudian diolah dengan menggunakan Adobe Photoshop untuk melihat tingkat *greyscale* (keabu-abuan) dari gambar untuk melihat level intensitas warna. Intensitas warna dinyatakan dalam warna merah, hijau dan biru (*red, green, blue*) sesuai dengan metode RGB.

$$\text{Intensitas (Level RGB)} = \text{—————} \quad (3.2)$$

Posisi yang terekam adalah pada daerah tengah dari laser sheet yang menembus ke dalam kolom. Posisi yang diambil untuk input nilai *RGB* adalah posisi horizontal pada daerah tengah pengamatan pada sumbu *y*.

Hasil input level grayscale diubah menjadi level emisi dengan kisaran 0-1, di mana level emisi didapat dari level RGB dibagi nilai tertinggi untuk level grayscale yaitu 255.

$$\text{Level Emisi} = \text{—————} \quad (3.3)$$

3.5.3 Analisa Kuantitatif Yield Biodiesel pada Kolom Pancaran

Berdasarkan hasil analisis HPLC, langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan untuk mendapatkan % konversi trigliserida, % yield biodiesel, digliserida dan monogliserida berdasarkan persamaan di bawah ini. Contoh perhitungan dapat dilihat pada bagian perhitungan.

Sampel dianalisa dengan uji HPLC, menggunakan fasa bergerak yaitu metanol dan isopropanol heksana (5:4). Temperatur operasi pada temeperatur ambient dan detektor yang digunakan adalah detektor UV dengan panjang gelombang 205 nm. Perhitungan yield biodiesel menggunakan persamaan (3.4), (3.5), (3.6) dan (3.7) berikut:

$$\text{---} \quad (3.4)$$

$$\text{---} \quad (3.5)$$

$$\text{---} \quad (3.6)$$

$$\text{---} \quad (3.7)$$

Keterangan:

B = bioidiesel

t = waktu

T = trigliserida

D = digliserida

M = Monogliserida

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Alat

Perancangan alat reaktor kolom pancaran dilakukan untuk melakukan proses reaksi dan pengamatan hidrodinamika. Pengamatan hidrodinamika membutuhkan perancangan khusus agar proses pengambilan data berupa gambar dengan menggunakan metode PLIF dapat dilakukan. Komponen utama yang dibutuhkan dalam pengamatan hidrodinamika ini yaitu;

1. Reaktor Kolom Pancaran

Reaktor kolom pancaran didesain dengan ukuran panjang \times lebar \times tinggi sebesar 10 cm \times 10 cm \times 40 cm. Material yang digunakan yaitu kaca bening atau transparan untuk memudahkan cahaya laser menembus larutan yang ada di dalam kolom dan zat fluoresensi yang ada di dalam kolom dapat menangkap cahaya tersebut dan mengemisikannya hingga dapat direkam oleh kamera.

Bentuk balok lebih dipilih dibandingkan dengan bentuk silinder untuk kolom karena untuk mengurangi efek cahaya yang terefleksikan oleh banyak sudut dalam kolom. Dengan bentuk balok, maka cahaya laser dapat diatur lebar dan tinggi lembar cahayanya. Kondisi jet yang tercelup di dalam cairan dilakukan untuk mengurangi efek pembentukan gelembung akibat *entrainment* udara yang masuk ke dalam jet. Gelembung ini akan menjadi *noise* atau gangguan karena tidak mengemisikan sinar yang diberikan oleh laser. Bentuk kolom dibuat sedikit lebar untuk meminimalisir efek tumbukan yang terjadi pada dinding, sehingga daerah tengah hanya dipengaruhi oleh efek jet.

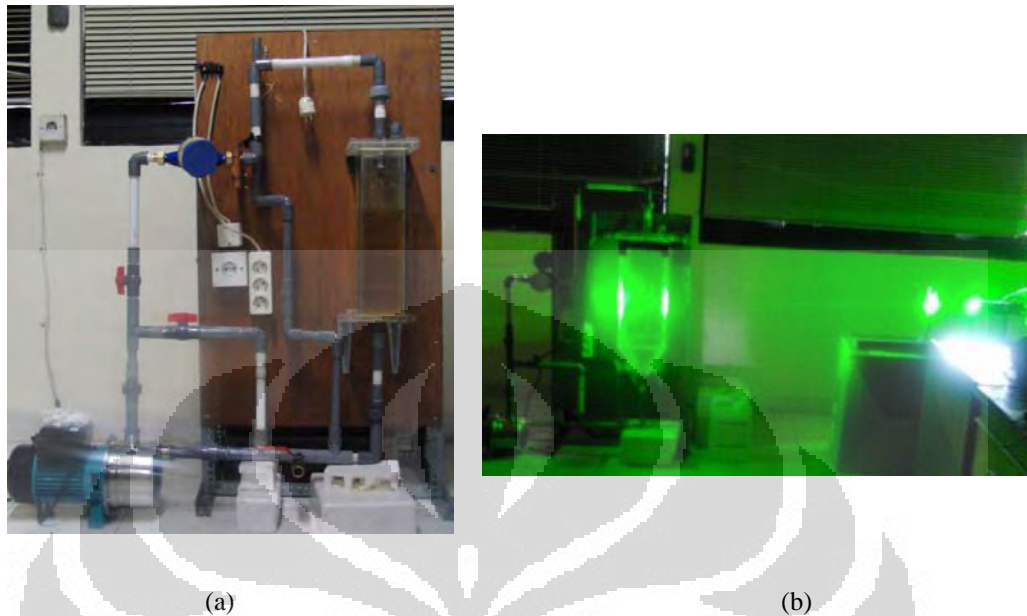
2. Laser Hijau dan Lensa Plano Konvek dan Plano Konkaf

Laser yang digunakan dalam penelitian ini adalah laser jenis laser generator 500 mV *power*, tipe DSPS 532nm. Laser ini mampu memiliki daya yang cukup untuk memberikan sinar hingga menembus ke dinding kolom. Agar Sinar tidak terefleksikan balik, digunakan kain hitam yang dapat menyerap sinar laser di sisi kolom yang lain. Lensa plano konkaf digunakan untuk membantu suatu lembar cahaya setinggi 8 cm dari cahaya dalam bentuk titik yang dihasilkan oleh laser. Lensa plano konvek digunakan untuk membuat lembar cahaya menjadi lebih pipih dengan tebal 2 mm.

3. Tracer berupa Rhodamine B

Pengamatan hidrodinamika dengan metode PLIF bertujuan untuk mendapatkan persebaran konsentrasi tracer di dalam kolom. Tracer yang digunakan adalah Rhodamine B yang dalam hal ini berperan sebagai zat fluoresensi yang dapat mengeksitasi atom yang diterimanya dari sumber cahaya. Konsentrasi Rhodamine B yang digunakan adalah sebesar 20 µg/liter. Collignon, M. L et. al. (2010) mengatakan bahwa volume yang digunakan untuk injeksi rhodamine B adalah sebesar 0,1% dari total volume fluida dalam kolom, dan konsentrasi yang digunakan berkisar antara 0,~ hingga 40 µg/liter untuk mendapatkan hasil refleksi sinar terbaik. Injeksi dilakukan di bagian atas pipa sebelum masuk ke dalam kolom. Injeksi dilakukan saat rangkaian alat dioperasikan sehingga pewarna benar-benar mewakili fluida dinamis.

Gambar 4.1 berikut menunjukkan foto skema peralatan kolom pancaran. 4.1 (a) menunjukkan skema peralatan pada proses pembuatan biodiesel. Sedangkan Gambar 4.1 (b) merupakan gambar proses analisa visualisasi aliran pada pencampuran dalam kolom.



Gambar 4. 1 Rangkaian Alat Reaktor Kolom Pancaran. (a) Rangkaian Alat Pembuatan Biodiesel
(b) Rangkaian Alat Analisa Visualisasi Aliran.

4.2 Studi Hidrodinamika dan Visualisasi Aliran Proses Pencampuran Biodiesel dengan Metode PLIF

4.2.1 Penggunaan Fluida untuk Simulasi dan Visualisasi Pembuatan Biodiesel

Studi hidrodinamika dalam pembuatan biodiesel ini dilakukan dalam bentuk pengamatan proses pencampuran menggunakan fluida simulasi. Studi hidrodinamika bertujuan untuk melihat tingkah laku dan pola aliran dalam suatu proses pencampuran untuk mendapatkan waktu *mixing* yang optimal. Tingkah laku dan pola aliran dari dua fluida yang tercampur diamati berdasarkan metode *Planar Laser Induced Fluorescence* (PLIF). Fluida yang bercampur dalam reaktor kolom pancaran direkam oleh kamera dengan kecepatan tinggi untuk mengetahui proses pencampurannya.

Studi hidrodinamika berupa visualisasi aliran pada penelitian ini menggunakan fluida simulasi yang dapat mewakili proses pencampuran biodiesel dalam kolom pancaran. Penggunaan fluida simulasi bertujuan untuk

meminimalisir efek dari reaksi, sehingga hanya karakter fisik dari campuran fluida yang teramati. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui terwakilinya fluida reaksi oleh fluida simulasi adalah Bilangan Schmidt

Bilangan Schmidt merupakan bilangan tak berdimensi yang merupakan rasio antara difusivitas momentum (viskositas) terhadap difusivitas massa. Bilangan Schmidt digunakan untuk mengetahui karakter aliran fluida dimana terdapat efek momentum dan konveksi difusi massa yang terjadi secara simultan

(4.1)

Keterangan :

- Sc = Bilangan Schmidt
- = Viskositas kinematik (m^2/s)
- = Difusivitas massa (m^2/s)
- = Viskositas dinamik (kg/ms)
- = Densitas fluida (kg/m^3).

Injeksi rhodamine B di dalam kolom yang berisi campuran gliserol dan air untuk melihat proses pencampuran diharapkan dapat mewakili injeksi metanol ke dalam minyak kelapa sawit di dalam kolom.

Tabel 4.1 Sampel viskositas (Fluorescence Correlation Spectroscopy, 2008)

Gliserol % (w/w)	Viskositas (cP)
0	1,15
20	2,00
30	2,65
40	3,70
45	4,80
50	5.65
55	7,65
60	9,85
65	13,7
70	20,0

Tabel 4.2 Difusivitas Rhodamine dalam Berbagai Variasi Viskositas Larutan (Fluorescence Correlation Spectroscopy, 2008)

Viskositas Kinematik(cP)	Difusivitas Rhodamine (cm ² /s)
1,15	$2,4 \times 10^{-6}$
2,00	$1,4 \times 10^{-6}$
1,65	$1,1 \times 10^{-6}$
3,70	$7,6 \times 10^{-7}$
4,70	$5,8 \times 10^{-7}$
5,65	$5,0 \times 10^{-7}$
7,65	$3,6 \times 10^{-7}$
9,85	$2,8 \times 10^{-7}$
13,7	$2,0 \times 10^{-7}$
20,0	$1,4 \times 10^{-7}$

Tabel 4.3 Difusivitas Metanol dalam Berbagai Variasi Viskositas Larutan (Van Loon, Allen, dan Wyslouzil, 2009)

Viskositas (cP)	D (cm ² /s) $\times 10^{-5}$
23,0	0,15
18,6	1,11
6,0	0,30
2,4	0,19
0,89	1,40

Perhitungan bilangan Schmidt untuk masing-masing fluida simulasi dan fluida reaksi disajikan dalam tabel 4.4 berikut

Tabel 4.4 Bilangan Schmidt untuk Fluida Simulasi

Rasio Mol	Difusivitas (cm²/s)	Viskositas Dinamik (g/cms)	Densitas (g/cm³)	Viskositas Kinematik (cm²/s)	Bilangan Schmidt
4:1	$1,94 \times 10^{-7}$	0,32	1,18	$2,69 \times 10^{-1}$	$1,39 \times 10^6$
5:1	$1,87 \times 10^{-7}$	0,38	1,19	$3,20 \times 10^{-1}$	$1,70 \times 10^6$
6:1	$2,78 \times 10^{-7}$	0,42	1,13	$3,52 \times 10^{-1}$	$1,27 \times 10^6$

Tabel 4.5 Bilangan Schmidt untuk Fluida Reaksi

Rasio Mol	Difusivitas (cm²/s)	Viskositas Dinamik (g/cms)	Densitas (g/cm³)	Viskositas Kinematik (cm²/s)	Bilangan Schmidt
4:1	$2,32 \times 10^{-6}$	0,32	0,88	$3,65 \times 10^{-1}$	$1,58 \times 10^5$
5:1	$2,77 \times 10^{-6}$	0,47	0,88	$4,19 \times 10^{-1}$	$1,51 \times 10^5$
6:1	$3,05 \times 10^{-6}$	0,40	0,88	$4,52 \times 10^{-1}$	$1,48 \times 10^5$

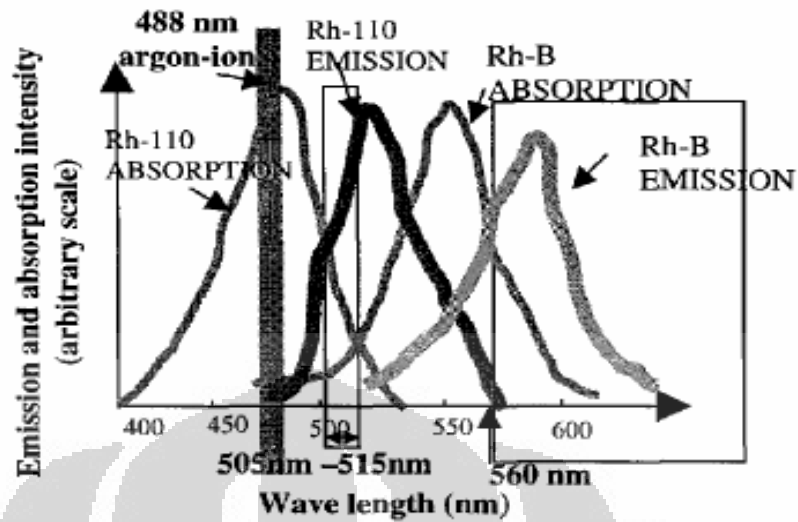
Bilangan Schmidt pada fluida simulasi dan reaksi memiliki orde yang tidak terlalu berbeda jauh, sehingga dapat dikatakan fluida simulasi dapat mewakili fluida reaksi. Berdasarkan persamaan (4.1), bilangan Schmidt dengan nilai lebih dari 1 menunjukkan bahwa nilai viskositas jauh lebih tinggi dibanding difusivitas dari suatu larutan. Rhodamine yang berdifusi ke dalam campuran gliserol dan air memiliki rintangan berupa viskositas tinggi. Begitu juga dengan metanol yang berdifusi ke dalam minyak kelapa sawit. Dengan viskositas yang sama, bilangan Schmidt menunjukkan bahwa fluida simulasi mengalami homogenitas sedikit lebih lama dibanding fluida reaksi. Lamanya mencapai kondisi homogen pada campuran fluida simulasi memberi indikasi kasar lamanya campuran fluida reaksi (dalam hal ini antara metanol dan CPO) untuk mengalami pencampuran hingga homogen.

Variasi rasio mol metanol dan CPO yang digunakan pada reaksi pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit memiliki viskositas yang berbeda-beda. Semakin tinggi rasio metanol terhadap CPO, maka viskositas semakin rendah. Pada fluida simulasi, kekentalan (viskositas) dari gliserol dan air dikondisikan serupa dengan viskositas campuran metanol dan CPO agar didapat tingkat turbulensi yang sama antara simulasi dan reaksi. Rasio mol metanol dan CPO yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 6:1, 5:1, dan 4:1, Rasio mol maksimum 6:1 merupakan rasio mol yang digunakan pada proses komersial dan merupakan rasio mol optimum untuk reaksi sintesis biodiesel dengan menggunakan katalis basa. Leung (2010) menemukan bahwa penggunaan rasio mol yang lebih tinggi tidak meningkatkan yield secara signifikan dan menambah biaya pemisahan metanol dengan produk akhir.

4.2.2 Pengamatan Kualitatif Visualisasi Aliran

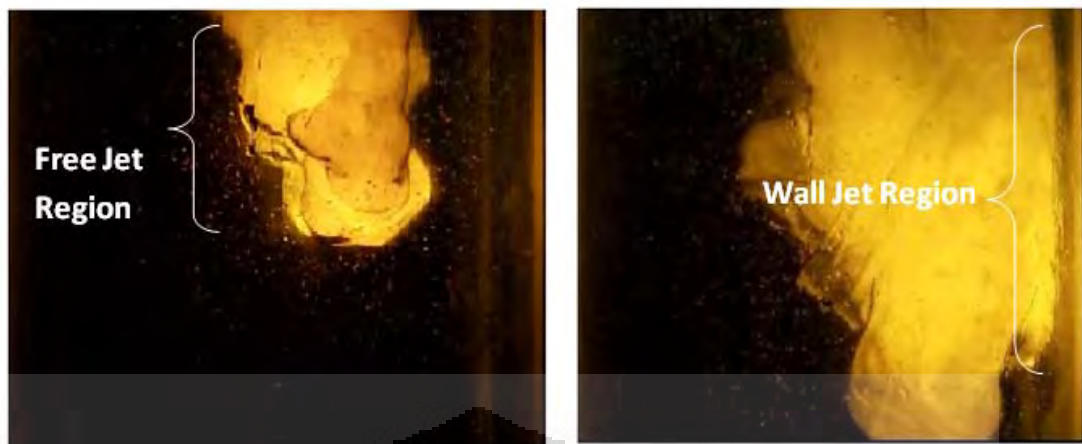
Visualisasi aliran dilakukan dengan menggunakan metode *Planar Laser Induced Fluorescence*. Metode ini digunakan untuk mengukur persebaran konsentrasi dan suhu dalam cairan (Ding, Revstedt, dan Fuchs, 2003). Zat fluoresensi yang digunakan pada penelitian ini adalah rhodamine B. Rhodamine B digunakan untuk mengetahui daerah konsentrasi dan persebarannya. Rhodamine B menyerap cahaya yang diterima dari sumber laser yang mengakibatkan atom tereksitasi. Untuk kembali pada keadaan semula, atom ini harus mengemisi atom (deeksitasi) dengan energi yang lebih rendah dibanding proses eksitasi. Proses ini digambarkan seperti pada Gambar 4.2. Filter jenis *cut off* dibutuhkan untuk mengisolasi daerah panjang gelombang dengan emisi yang memiliki intensitas tinggi dan absorpsi dengan intensitas rendah sehingga efek absorpsi terhadap emisi bisa dieliminasi. Di samping itu, pada emisi intensitas tinggi, konsentrasi Rhodamine B berkorelasi kuat dengan intensitas emisi.

Metode penginjeksian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *premixed injection* karena akan diamatinya pola turbulensi aliran pada beberapa posisi di kolom, di mana rhodamine diinjeksikan sebelum fluida dinamis menumbuk fluida statis dalam kolom



Gambar 4. 2 Tingkat Emisi dan Absorpsi dari Zat Fluoresensi (Rhodamine B).

Rhodamine B diinjeksikan ke dalam kolom dan ikut mengalir bersama fluida dinamis menumbuk fluida statis. Terdapat tiga daerah persebaran konsentrasi dalam suatu kolom dengan metode PLIF yaitu daerah pancaran bebas (*free jet region*) dimana pada area tengah dimana konsentrasi cukup tinggi, daerah dinding (*wall jet region*) yang memiliki efek tumbukan dengan dinding kolom dan daerah tumbukan balik (*impingement region*) yang merupakan daerah tumbukan balik yang mengenai kolom bagian bawah ((Ding, R., Revstedt, dan Fuchs, L., 2003). Ketika ketiga daerah tersebut di atas sudah terlihat dan proses pencampuran terus dilakukan maka akan tercapai kondisi di mana daerah larutan dalam kolom memiliki konsentrasi yang sama atau dengan kata lain, pencampuran sudah homogen.



Gambar 4. 3 Daerah Pernyebaran Konsentrasi Rhodamine B dalam Kolom.

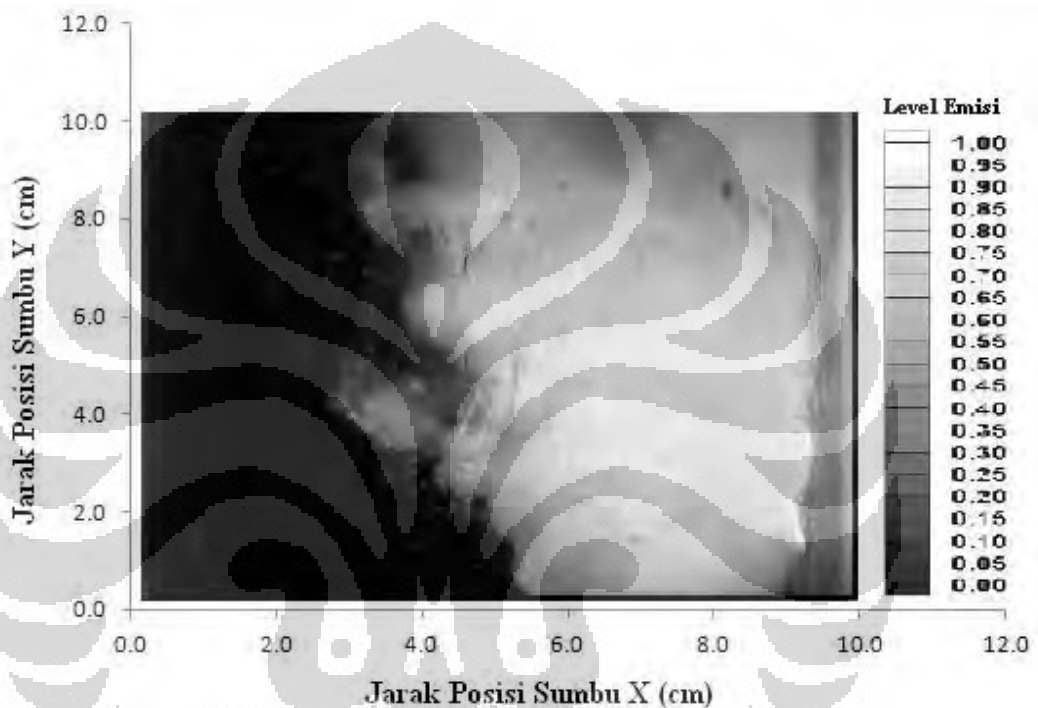
Pada saat injeksi rhodamine B dilakukan, daerah yang pertama kali teramati adalah daerah pancaran bebas, diikuti dengan daerah dinding dan daerah tumbukan balik. Mula-mula aliran yang keluar dari jet menumbuk fluida statis di dalam kolom pada daerah *centerline*, aliran bergerak memanjang memenuhi *centerline* kemudian menuju daerah dekat dinding. Webster, D. R. et. al. (2001) mengatakan bahwa nilai konsentrasi yang berawal dari *centerline* akan bergerak menuju homogen memenuhi kolom.

Pada penelitian ini hanya dua daerah yang dapat teramati yaitu daerah pancaran bebas dimana tumbukan hanya terjadi antara fluida dinamis terhadap fluida statis dan daerah dinding dimana ada faktor tumbukan dengan dinding yang ikut mempengaruhi proses perpindahan massa seperti pada Gambar 4.3. Oleh karena pengamatan hanya dilakukan untuk satu daerah di dekat jet. Daerah tumbukan balik pada bagian bawah kolom tidak dapat diamati. Ketiga peristiwa tumbukan daerah ini akan berpengaruh terhadap peristiwa pencampuran.

Jenis *elliptic jet* dengan aspek rasio (rasio antara lebar dan panjang) tinggi dapat memberikan pencampuran yang lebih baik. Jenis jet ini memberikan efek pusaran yang lebih kecil akan tetapi lebih turbulen. Semakin tinggi nilai aspek rasio, semakin baik proses pencampuran (Salewski, Stankovic, Fuchs, 2007). Selama proses pencampuran, efek tumbukan dengan dinding lebih dominan dibanding efek jet itu sendiri yang mengakibatkan turbulensi pada daerah tengah

kolom berkurang, proses pencampuran pun agak sedikit terganggu dan efisiensi waktu pencampuran berkurang.

Pengolahan data dilakukan dengan menghubungkan antara persebaran tingkat warna atau level emisi dari rhodamine B pada posisi horizontal di dalam kolom, dan tingkat intensitas warna yang ditunjukkan dalam metode RGB (*Red Green Blue*).



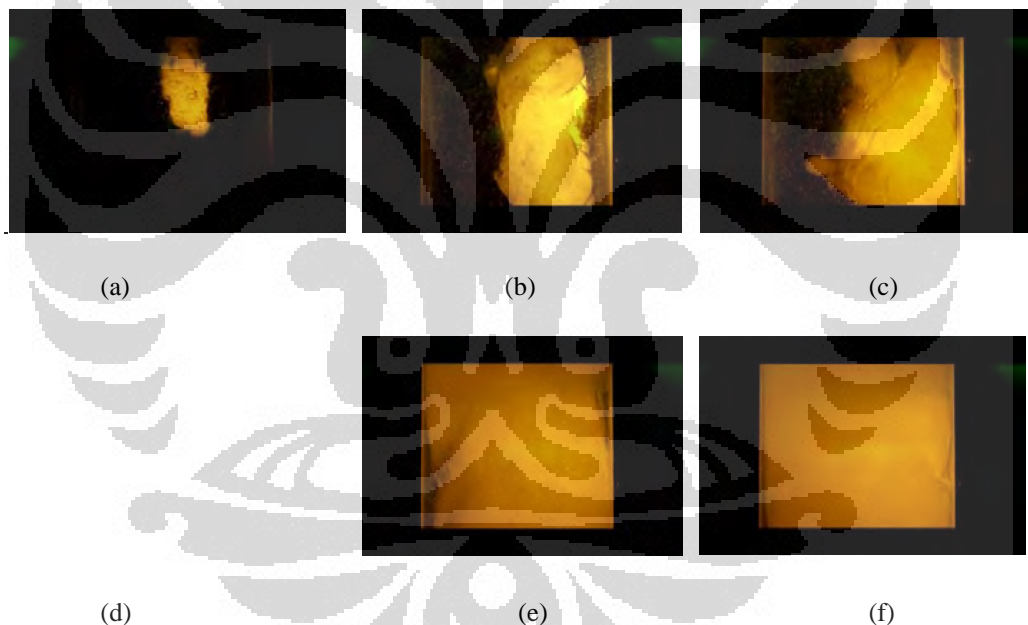
Gambar 4. 4 Level Emisi dalam range 0-1 pada Daerah sumbu X dan Y untuk Kecepatan Jet 5 m/s rasio mol Metanol dan CPO 6:1.

Tingkat intensitas dapat dinyatakan dalam level emisi dalam kisaran 0-1. Dengan nilai nilai intensitas dibagi dengan nilai tertinggi dalam intensitas warna pada metode RGB yaitu 255. Gambar 4.4 menunjukkan persebaran tingkat konsentrasi pada keadaan pencampuran dimana pencampuran masih belum merata dan masih terpusat pada satu daerah. Level konsentrasi diamati mulai dari daerah (0,0) hingga variasi daerah (X,Y). Panjang dan lebar sheet yang digunakan sebesar 10 cm × 8 cm.

4.2.3 Proses Pencampuran untuk Variasi Rasio Mol Metanol dan CPO pada Kecepatan 11 m/s

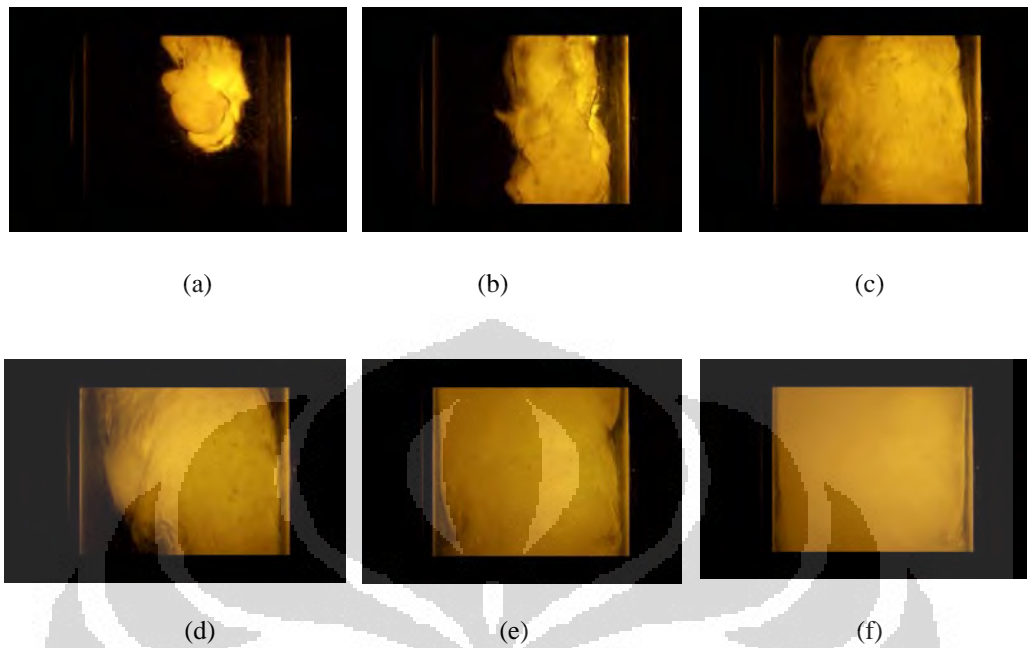
Rasio mol metanol dan CPO yang divariasikan yaitu rasio 4:1; 5:1; dan 6:1. Fluida yang digunakan yaitu fluida simulasi campuran gliserol dan air yang memiliki viskositas serupa untuk tiap variasi rasio mol. Tujuan penggantian jenis fluida menggunakan fluida simulasi ini yaitu untuk mengisolasi efek reaksi sehingga hanya proses hidrodinamika yang diamati.

Pengamatan visualisasi aliran dilakukan dengan merekam dalam bentuk video pengamatan. Video yang ada kemudian dipotong menjadi sebuah gambar yang merepresentasikan pencampuran pada waktu tertentu. Gambar 4.5 menunjukkan visualisasi aliran pada waktu 1, 2, 3, 5, 10, dan 15 detik pada rasio mol 4:1 dan kecepatan 11 m/s.

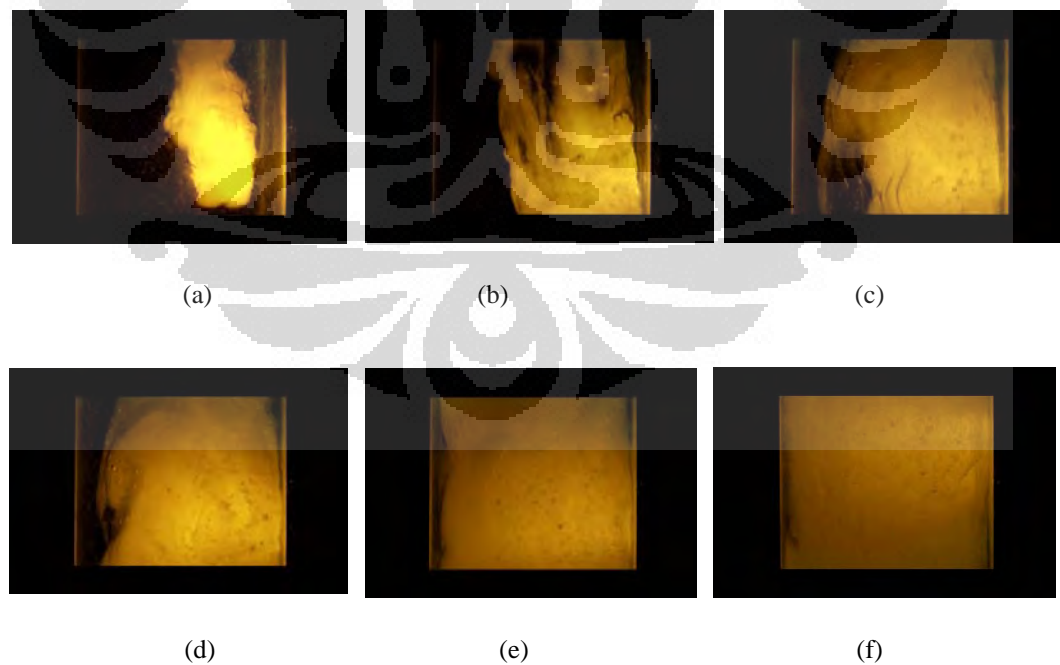


Gambar 4.5 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 4:1 dan Kecepatan 11 m/s. (a) $t = 1$ detik, (b) $t = 2$ detik, (c) $t = 3$ detik, (d) $t = 5$ detik, (e) $t = 10$ detik, (f) $t = 15$ detik.

Sedangkan untuk rasio mol metanol dan CPO pada 5:1 dan 6:1 dengan kecepatan 11 m/s, digambarkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 berikut

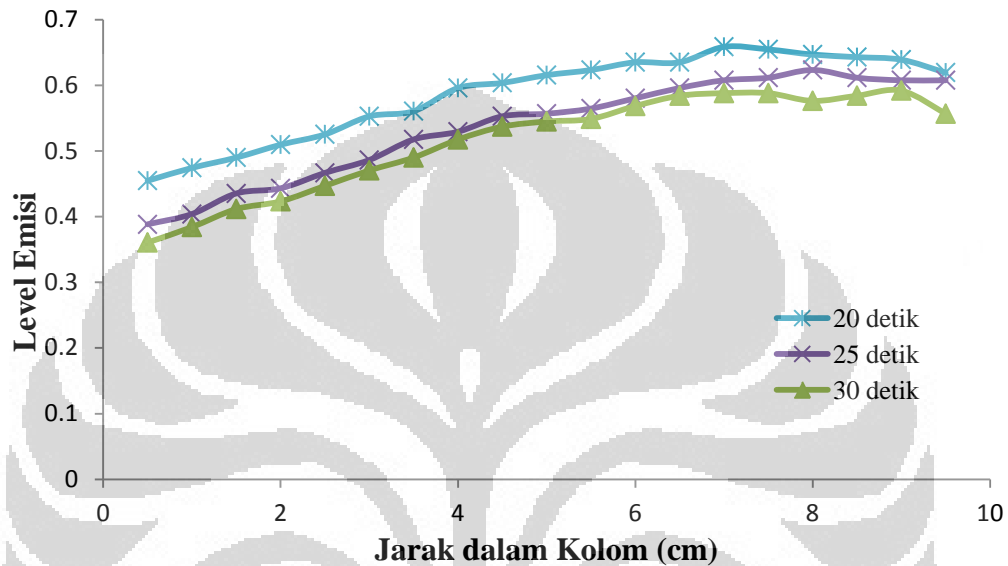


Gambar 4. 6 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 5:1 dan Kecepatan 11 m/s. (a) $t = 1$ detik, (b) $t = 2$ detik, (c) $t = 3$ detik, (d) $t = 5$ detik, (e) $t = 10$ detik, (f) $t = 15$ detik

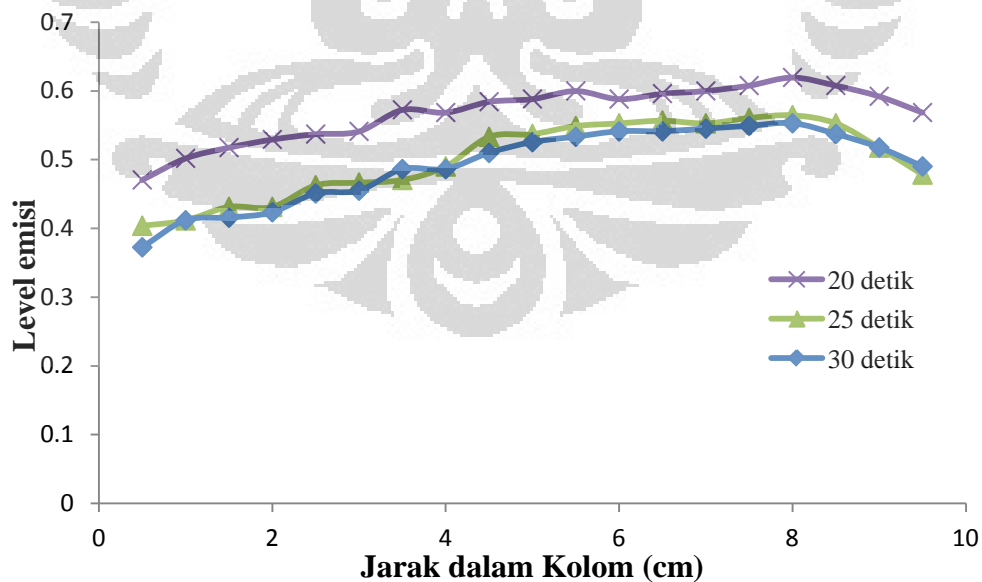


Gambar 4. 7 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 11 m/s. (a) $t = 1$ detik, (b) $t = 2$ detik, (c) $t = 3$ detik, (d) $t = 5$ detik, (e) $t = 10$ detik, (f) $t = 15$ detik

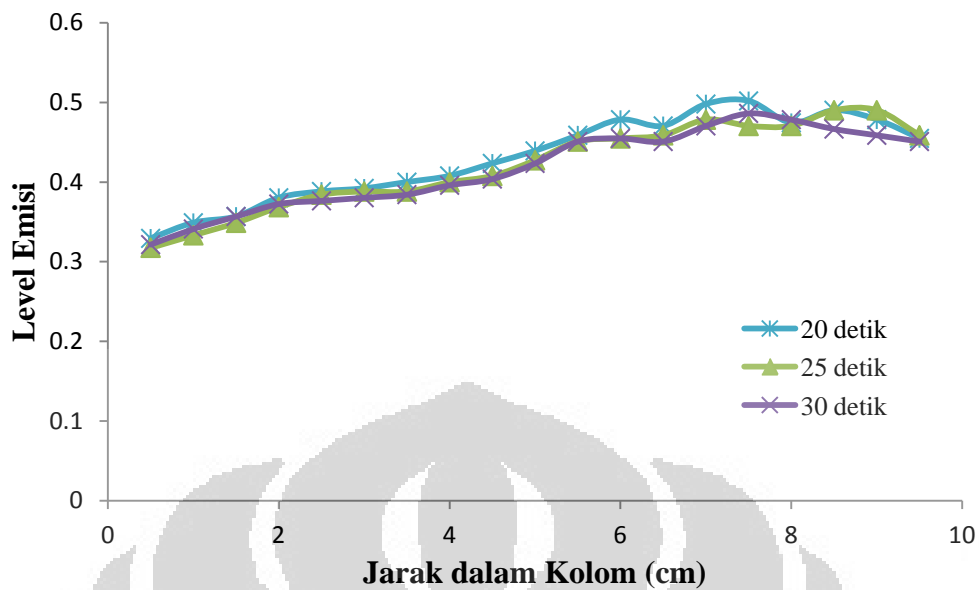
Pada waktu yang sama, untuk variasi rasio mol dengan kecepatan 11 m/s menunjukkan adanya perbedaan visualisasi aliran seperti pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Rasio 6:1 menunjukkan pencampuran yang lebih cepat terjadi dibanding rasio lainnya. Hal ini dapat dilihat dari pencapaian persebaran warna atau level emisi rhodaminie B di tiap waktu.



Gambar 4. 8 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal terhadap Level Emisi dengan Variasi Rasio Mol 4:1 dan Kecepatan 11 m/s.



Gambar 4. 9 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal terhadap Level Emisi dengan Variasi Rasio Mol 5:1 dan Kecepatan 11 m/s.



Gambar 4. 10 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal terhadap Level Emisi dengan Variasi Rasio Mol 5:1 dan Kecepatan 11 m/s.

Pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10, grafik memiliki kecenderungan sama berupa nilai level emisi di awal yang rendah, naik kemudian sedikit menurun lagi. Daerah dekat dinding cenderung memiliki intensitas yang lebih rendah dibanding daerah tengah kolom karena adanya efek tumbukan dengan dinding kolom yang menyebabkan turbulensi aliran lebih kecil dan kecepatan pada daerah dinding lebih rendah dibanding daerah tengah kolom sehingga mempengaruhi proses pencampuran. Pada bilangan schmidt yang tinggi, viskosnya campuran turut mempengaruhi perpindahan massa di dekat dinding. Bilangan schmidt yang semakin tinggi menyebabkan lapisan batas menjadi sangat tipis sehingga turbulensi di daerah dinding mempengaruhi perpindahan massa (Hasegawa dan Kasagi, 2001).

Semakin tinggi nilai rasio mol metanol terhadap CPO, maka viskositas campurannya semakin rendah. Pada viskositas yang rendah yaitu rasio 6:1, grafik menunjukkan nilai yang homogen, terlihat pada waktu 20, 25, dan 30 detik grafik tidak banyak mengalami perubahan level emisi. Nilai level emisi yang lebih rendah juga menunjukkan zat fluoresensi mulai berdifusi ke dalam campuran dan menyebabkan warna yang merata dalam satu kolom dan lebih redup dibanding

saat baru diinjeksikan. Pada rasio 4:1 dan 5:1 pada waktu 20, 25, dan 30 detik, level emisi masih cukup tersebar di beberapa titik dan belum menunjukkan campuran yang homogen. Akan tetapi pada rasio 5:1 di waktu 25 detik dan 30 detik (Gambar 4.9) grafik menunjukkan mulai adanya homogenisasi pada campuran yang terlihat persebaran titik level emisi yang hampir sama. Hu et. al. (2010) telah melakukan berbagai variasi viskositas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap waktu pencampuran, didapat hasil bahwa semakin tinggi nilai viskositas maka, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses pencampuran semakin lama. Maka dapat dikatakan bahwa pada rasio 6:1, pencampuran lebih cepat dilakukan.

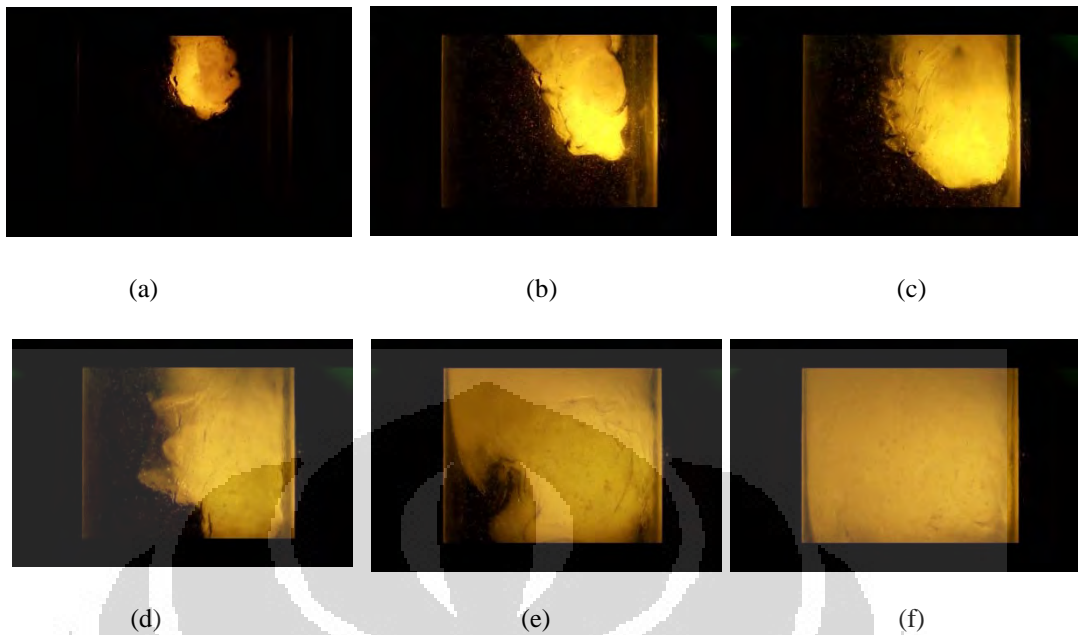
Setiap rasio mol memiliki parameter homogen masing-masing. Level sinar yang diberikan oleh laser pada kolom tidak menunjukkan keseragaman. Hal ini terlihat pada daerah kanan kolom, sinar yang diemisikan oleh rhodamine B menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding pada daerah kiri. Oleh karena itu, grafik tidak pernah benar-benar lurus selama cahaya yang ditangkap dan diemisikan oleh rhodamine B tidak seragam untuk satu kolom.

Pada rasio 6:1, pada waktu 20, 25, dan 30 detik menunjukkan level emisi yang hampir seragam. Apabila waktu pencampuran ditambah, maka grafik tidak akan banyak berpindah titik level emisi. Nilai inilah yang menunjukkan bahwa campuran homogen sudah dicapai, yaitu dengan level emisi berkisar antara 0,32 hingga 0,49.

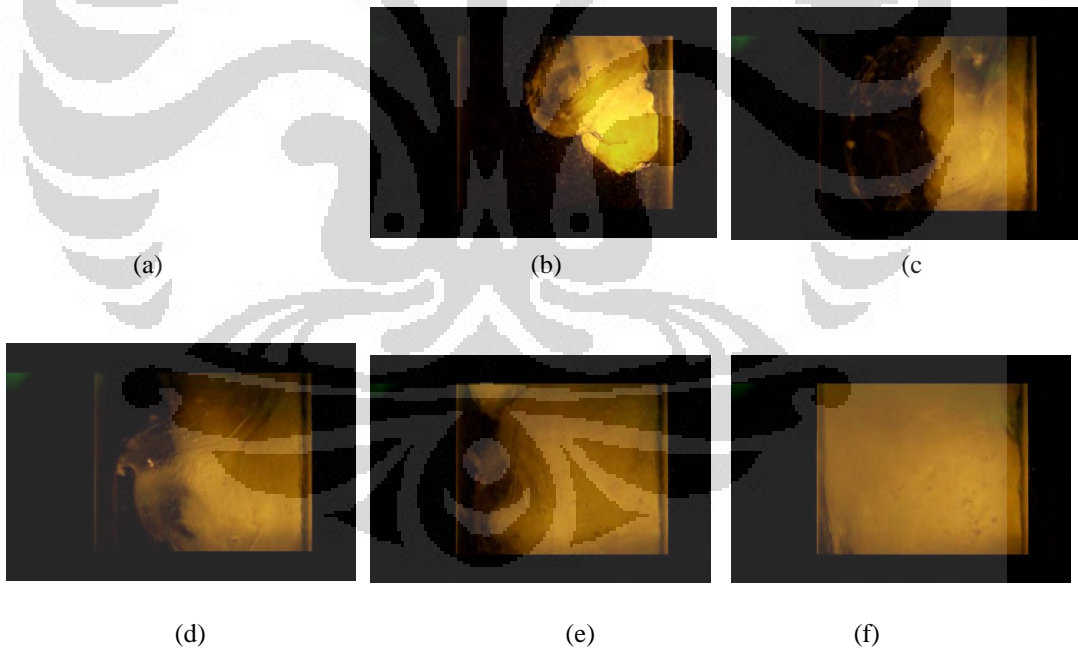
Pada saat pengambilan rekaman proses pencampuran, parameter yang digunakan hanya berdasarkan pengamatan oleh mata untuk melihat homogenitas campuran. Dari segi pengamatan dengan mata, proses *mixing* sudah dicapai dalam kolom.

4.2.4 Proses Pencampuran untuk Variasi Kecepatan Jet pada Rasio 6:1 dan Waktu 25 detik.

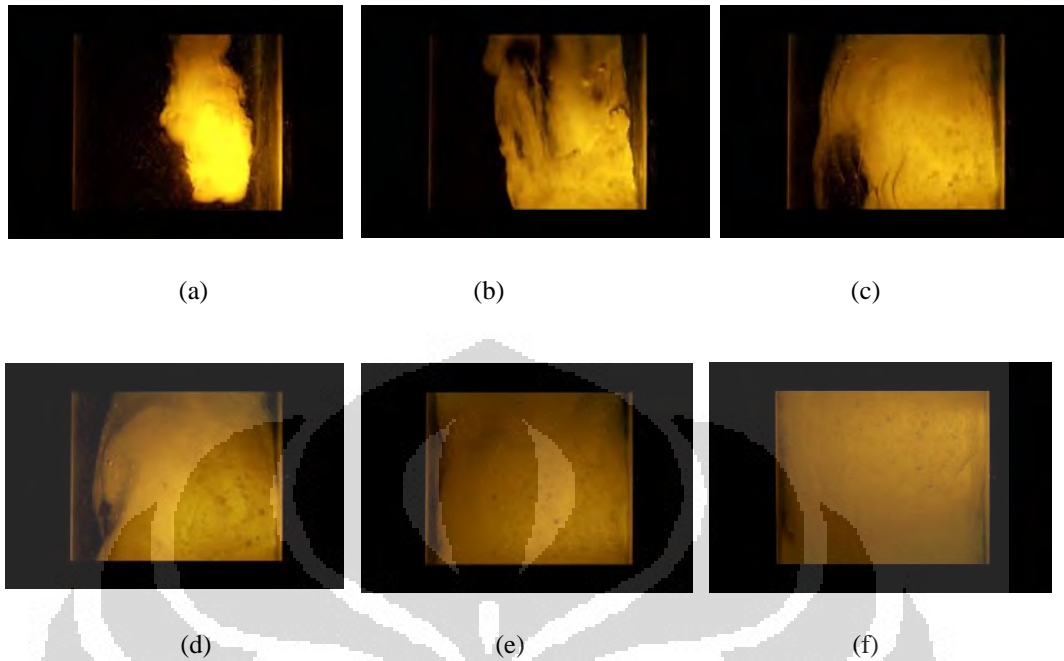
Variasi lain yang dilakukan yaitu kecepatan jet, untuk melihat pengaruh kecepatan jet pada proses pencampuran. Dengan menggunakan rasio mol tertinggi untuk pencampuran yaitu 6:1, pengambilan data divariasikan untuk kecepatan jet 5, 8 dan 11 m/s. Visualisasi aliran pada tiap-tiap kecepatan digambarkan pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13 berikut



Gambar 4. 11 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 5 m/s. (a) $t = 1$ detik, (b) $t = 2$ detik, (c) $t = 3$ detik, (d) $t = 5$ detik, (e) $t = 10$ detik, (f) $t = 15$ detik.

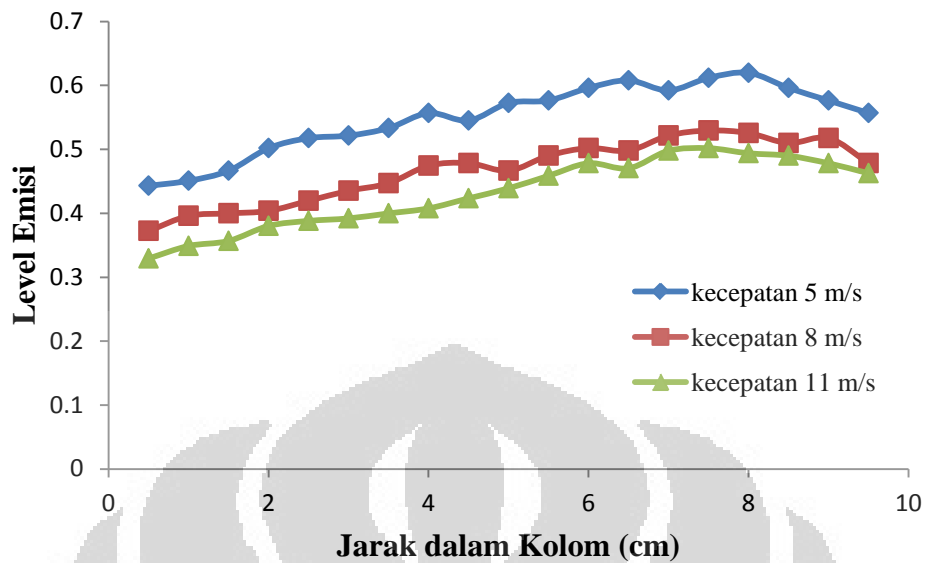


Gambar 4. 12 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 8 m/s. (a) $t = 1$ detik, (b) $t = 2$ detik, (c) $t = 3$ detik, (d) $t = 5$ detik, (e) $t = 10$ detik, (f) $t = 15$ detik



Gambar 4. 13 Visualisasi Aliran pada Proses Pencampuran pada Rasio Mol 6:1 dan Kecepatan 11 m/s. (a) $t = 1$ detik, (b) $t = 2$ detik, (c) $t = 3$ detik, (d) $t = 5$ detik, (e) $t = 10$ detik, (f) $t = 15$ detik

Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13 menunjukkan visualisasi aliran untuk rasio mol 6:1 pada kecepatan 5 , 8 dan 11 m/s. Secara visual, rasio 6:1 dengan kecepatan yang lebih tinggi menunjukkan waktu homogen yang lebih cepat. Pada variasi sebelumnya, yaitu variasi rasio mol, rasio 6:1 menunjukkan hasil waktu pencampuran yang lebih cepat dibanding rasio lainnya. Nilai level emisi pada rasio 6:1 berkisar antara 0,32 hingga 0,49 pada waktu 20, 25 dan 30 detik. Nilai tersebut menjadi acuan homogen pada variasi kecepatan dengan rasio 6:1. Gambar 4.14 menunjukkan grafik nilai level emisi untuk variasi kecepatan pada rasio 6:1 untuk waktu 20 detik.



Gambar 4. 14 Hubungan Persebaran Level Emisi untuk Daerah Horizontal dengan Variasi Kecepatan Jet 5, 8 dan 11 m/s pada Waktu 20 detik untuk Rasio Mol 6:1.

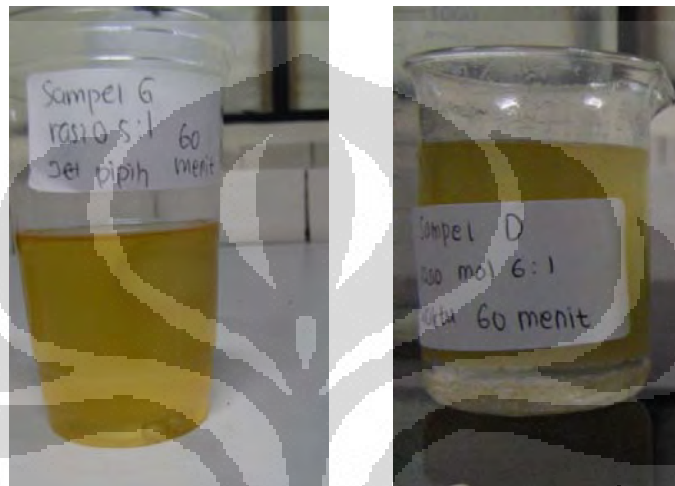
Berdasarkan Gambar 4.14, terlihat bahwa grafik memiliki nilai level emisi untuk daerah dekat dinding lebih rendah dibanding daerah tengah, karena adanya perbedaan intensitas laser di dalam kolom. Kecepatan memiliki pengaruh terhadap proses pencampuran, terlihat dari grafik bahwa level emisi masing-masing kecepatan menunjukkan nilai yang berbeda. Pada waktu 20 detik untuk kecepatan 5 m/s, nilai level emisi berkisar antara 0,44 hingga 0,61. Sedangkan pada kecepatan 8 m/s, nilai level emisi berkisar antara 0,37 hingga 0,52. Acuan tingkat homogenitas pada variasi sebelumnya yaitu 0,32 hingga 0,49. Maka dapat dikatakan bahwa, untuk waktu 20 detik, kecepatan 5 m/s dan 8 m/s belum menghasilkan campuran yang homogen. Hal ini bersesuaian dengan teori semakin tinggi kecepatan jet, menyebabkan bertambahnya perpindahan massa yang terjadi dalam kolom dan mengakibatkan terjadinya pencampuran (Ferial et. al., 2010).

Selama proses pencampuran dan pengambilan gambar, masih terdapat sedikit *noise* berupa gelembung udara yang berasal dari udara yang ada di dalam kolom dan terhisap (*entrainment*) ke dalam jet. Adanya gelembung ini mengakibatkan pembacaan intensitas sedikit terganggu karena gelembung ini tidak merefleksikan sinar yang berasal dari cahaya laser.

4.3 Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit

4.3.1 Produk Biodiesel Hasil Reaksi Nonkatalitik dan Katalitik

Pada reaksi sintesis biodiesel secara non-katalitik, variasi yang dilakukan adalah rasio mol metanol dan minyak, serta waktu reaksi. Hasil pengamatan kualitatif untuk biodiesel dari hasil reaksi nonkatalitik ditunjukkan pada Gambar 4.15



Gambar 4. 15 Hasil Biodiesel Reaksi Non Katalitik. a)Rasio 5:1, b)Rasio 6:1.

Reaksi transesterifikasi biodiesel menghasilkan produk utama biodiesel dan produk samping berupa gliserol. Oleh karena adanya perbedaan nilai densitas dari keduanya, maka hasil campuran keduanya akan membentuk dua fasa cairan yang berbeda. Gliserol memiliki massa jenis yang lebih besar dibanding biodiesel sehingga akan berada di bagian bawah campuran.

Pada rasio mol metanol dan CPO 6:1 terlihat adanya perbedaan dua lapisan antara biodiesel yang dihasilkan dengan gliserol. Sedangkan pada rasio mol metanol dan CPO di bawah 6:1, lapisan fasa tetap ada tetapi tidak begitu terlihat seperti pada rasio 6:1. Kurang berhasilnya proses reaksi untuk menghasilkan lapisan biodiesel dan gliserol karena beberapa hal. Reaksi pembuatan biodiesel ini tidak melibatkan adanya suatu katalis sehingga energi aktivasi mengalami penurunan. Selain itu, pada rasio mol metanol dan CPO yang lebih rendah, jumlah metanolnya tidak terlalu berlebih sehingga kontak antara CPO dan metanol juga menjadi kecil. Selama proses reaksi, pompa yang

digunakan mengalami friksi yang cukup tinggi sehingga menyebabkan suhu reaksi mencapai lebih dari 60°C. Sifat metanol yang mudah menguap pada suhu 65°C (Mekhilef et al, 2010), menyebabkan adanya metanol yang teruapkan selama reaksi, sehingga menyebabkan rasio mol metanol tidak lagi memenuhi untuk proses reaksi.



Gambar 4.16 Produk Hasil Reaksi Katalitik selama 60 menit untuk Rasio Mol 6:1.

Reaksi katalitik dengan penggunaan katalis KOH dilakukan untuk menguji pengaruh katalis dalam penelitian ini. Penggunaan katalis hanya untuk rasio 6:1 pada kurun waktu 60 menit. Hasil reaksi katalitik sintesis biodiesel juga menunjukkan terbentuknya dua lapisan antara biodiesel dengan gliserol yang dihasilkan seperti pada Gambar 4.16.. Gliserol di bagian bawah dan biodiesel dengan densitas lebih rendah di bagian atas. Secara kualitatif, produk biodiesel menunjukkan keberhasilan reaksi katalitik dengan menggunakan kolom pancaran.

Perbedaan antara reaksi nonkatalitik dan reaksi katalitik terlihat dari warna gliserol yang terbentuk dari hasil reaksi. Pada reaksi katalitik, gliserol yang terbentuk berwarna kecoklatan. Pada saat sebelum reaktan metanol dan CPO dicampurkan, metanol berwarna putih bening dan CPO berwarna kuning kejinggaan. Warna gliserol kecoklatan ini karena adanya pengaruh katalis KOH yang digunakan. Katalis ini melepaskan senyawa beta karoten yang terdapat dalam minyak kelapa sawit. Warna coklat ini kemudian bercampur dengan gliserol sehingga gliserol berubah warna menjadi kecoklatan.

4.3.2 Bilangan Asam Produk Biodiesel

Bilangan asam merupakan ukuran dari jumlah asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak atau lemak. Standar dari SNI maupun ASTM D-664 adalah 0,8 mg KOH/gram minyak untuk nilai maksimal dari suatu bilangan asam dari biodiesel. Hasil perhitungan Bilangan asam untuk produk biodiesel yang dihasilkan tertera pada Tabel 4.6 berikut

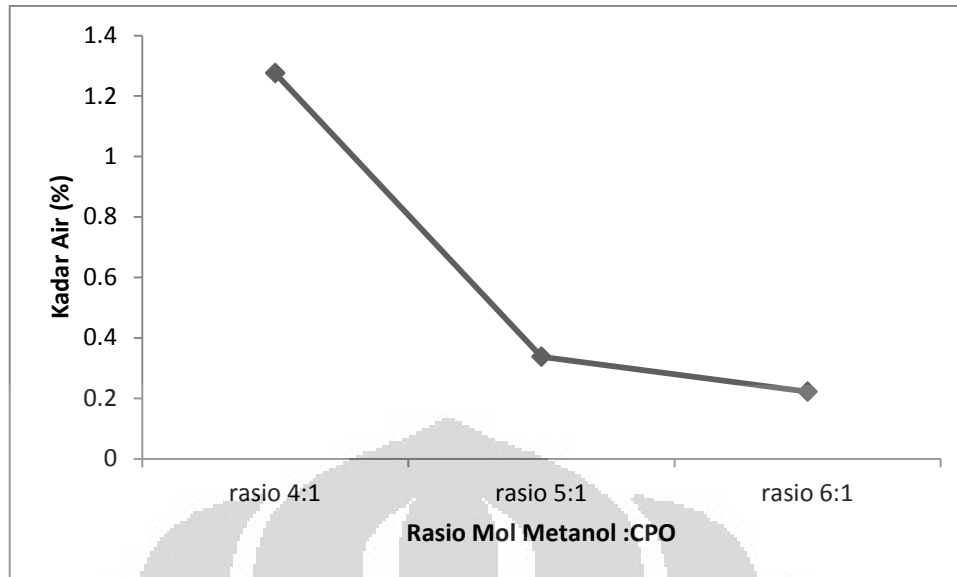
Tabel 4.6 Nilai Bilangan Asam dari Produk Biodiesel yang Dihasilkan

Rasio Mol Metanol : CPO	Waktu Reaksi (menit)	Nilai Bilangan Asam (mg KOH/g minyak)
4:1	60	0,351
5:1	60	0,561
6:1	20	0,561
6:1	40	0,140
6:1	60	0,140
6:1 (katalis)	60	0.421

Produk biodiesel yang dihasilkan dari reaktor kolom pancaran menunjukkan nilai bilangan asam yang masih di bawah batas maksimal bilangan asam sesuai standar yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas biodiesel yang dihasilkan dari reaktor kolom pancaran memiliki kualitas yang baik apabila ditinjau dari faktor bilangan asam.

4.3.3 Kandungan Air Produk

Sampel hasil reaksi biodiesel diuji kadar airnya untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan. Dalam mekanisme reaksi transesterifikasi, sejumlah kecil air turut dihasilkan dan dapat menyebabkan pembentukan sabun selama proses (Hanna, et al. 1999). Hal ini yang memicu kadar air umumnya terkandung dalam biodiesel. Kadar air dalam biodiesel yang diperbolehkan dalam bahan bakardiesel adalah 0,05 % berat berdasarkan standar ASTM D-6751 untuk biodiesel dan ASTM D-93 untuk solar. Hasil yang didapat pada penelitian ini untuk kadar air dalam biodiesel pada reaksi nonkatalitik ditampilkan pada Gambar 4.17

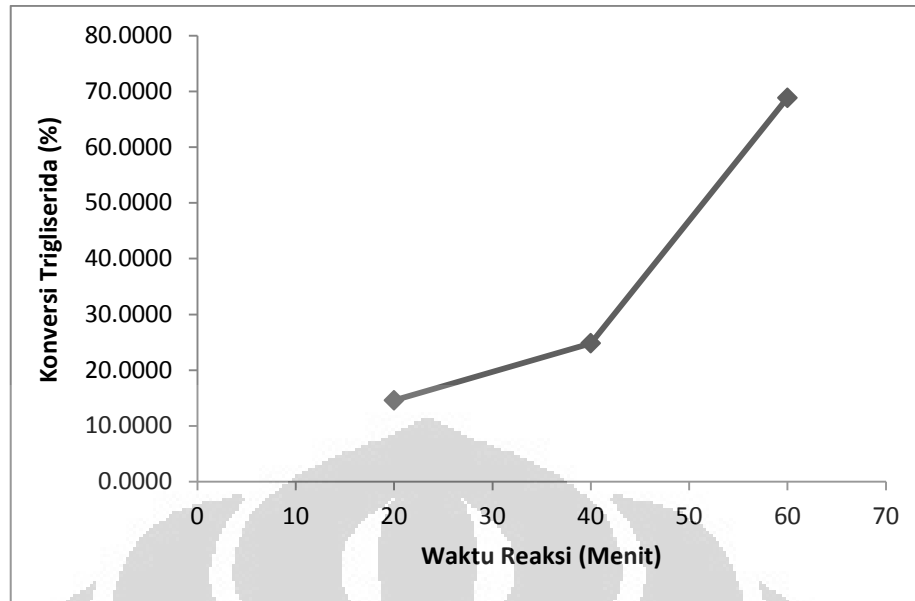


Gambar 4.17 Kadar Air Biodiesel untuk Variasi Rasio Mol Metanol dan CPO untuk Waktu 60 menit.

Gambar 4.17 menunjukkan penurunan nilai kadar air pada rasio 4:1, 5:1 dan 6:1. Pada rasio 6:1, sampel memiliki kadar air terendah yaitu 0,22 %. Akan tetapi nilai tersebut masih lebih tinggi di atas ambang batas maksimal kadar air dalam bahan bakar diesel yang diperbolehkan. Hal ini dapat terjadi karena pada saat pencucian menggunakan air untuk menghilangkan pengotor dari biodiesel, masih ada air yang tertinggal di dalam biodiesel. Kondisi ini diantisipasi dengan menambahkan senyawa anhidrat Na_2SO_4 sebesar 1% berat. Akan tetapi kadar air masih tetap tinggi. Metode pengurangan kadar air dengan menggunakan senyawa anhidrat tidak mampu mengurangi kadar air pada sampel biodiesel dengan baik sehingga menyebabkan tingginya kadar air pada sampel tersebut. Metode *dry washing* menunjukkan metode pencucian yang lebih baik bila dibandingkan dengan metode *bubble washing* dan pencucian biasa dan dapat menaikkan sedikit kadar metil ester (Zibbeni dan Resti, 2009)

4.3.4 Konversi Triglisierida

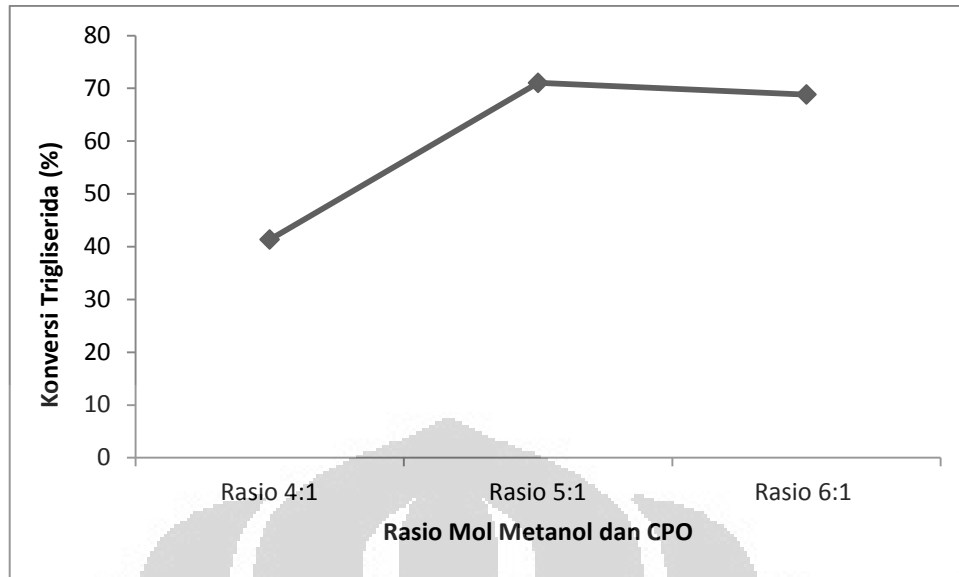
Konversi triglisierida didapatkan dari hasil analisis HPLC (*high performance liquid chromatography*). Data HPLC menunjukkan banyaknya triglisierida pada kondisi awal reaksi dan pada saat akhir reaksi.



Gambar 4.18 Konversi Trigliserida pada Reaksi Nonkatalitik dengan Variasi dalam Waktu pada Rasiometanol dan minyak 6:1

Pada Gambar 4.18, terlihat bahwa konversi trigliserida semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Pada kondisi awal dan kedua yaitu pada waktu 20 dan 40 menit, nilai konversi cukup rendah. Kemudian pada waktu 60 menit, konversi meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa waktu 60 menit lebih baik untuk melakukan reaksi sintesis biodiesel tanpa penggunaan katalis. Konversi trigliserida menunjukkan konsentrasi trigliserida yang berkurang seiring penambahan waktu karena bereaksinya trigliserida dengan metanol. Waktu yang lebih lama menunjukkan bahwa konsentrasi trigliserida lebih sedikit dibanding waktu yang lebih cepat. Hal ini karena semakin banyaknya trigliserida yang bereaksi dengan metanol membentuk metil ester (biodiesel).

Peningkatan jumlah konversi trigliserida seiring penambahan waktu menunjukkan bahwa reaktor kolom pancaran ini mampu mereaksikan minyak kelapa sawit dan metanol di dalamnya. Efek tumbukan yang diberikan oleh jet ke dalam fluida statis di dalam kolom menghasilkan energi yang digunakan untuk mereaksikan metanol dan CPO.



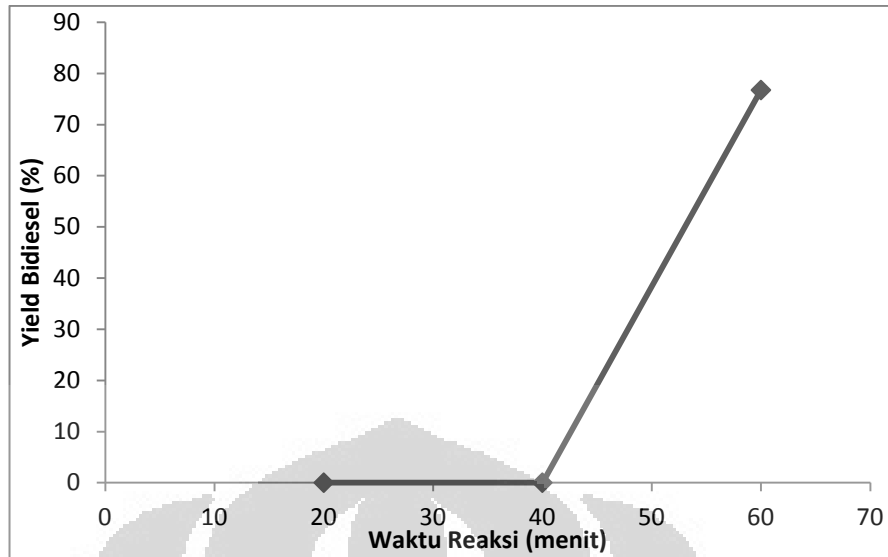
Gambar 4. 19 Konversi Trigliserida pada Reaksi Nonkatalitik dengan Variasi Rasio Mol Metanol Minyak pada Kecepatan 11 m/s Waktu Reaksi 60 menit.

Konversi trigliserida untuk variasi rasio mol metanol dan CPO pada Gambar 4.19 menunjukkan bahwa konversi trigliseridan pada rasio mol 5:1 lebih tinggi dibanding rasio mol 4:1. Pada rasio mol metanol dan CPO 4:1, metanol yang digunakan lebih sedikit sehingga kesempatan kontak antara trigliserida dalam minyak dengan metanol lebih kecil dan mengakibatkan adanya trigliserida yang tidak terkonversi.

Namun pada rasio 6:1, konversi sedikit menurun dibanding rasio 5:1. Hal ini karena pada saat reaksi, suhu reaksi di dalam kolom mencapai suhu 61.5 °C akibat gaya friksi pada pompa yang menyebabkan suhu naik dan mempengaruhi metanol yang mudah menguap dan mengurangi jumlah reaktan yang ada.

4.3.5 Yield Biodiesel

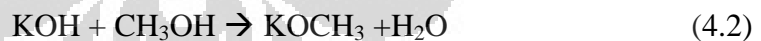
Pada reaksi nonkatalitik untuk rasio 6:1, hasil yang didapat dari analisis Uji HPLC menunjukkan bahwa pada waktu ke 20 dan 40 menit, yield biodiesel masih belum didapatkan, seperti yang terlihat pada gambar 4.20. Kemudian pada waktu 60 menit, baru didapatkan yield biodiesel sebesar 76,73 %. Hasil konversi trigliserida pada waktu 20 dan 40 menit juga lebih sedikit dibanding 60 menit.



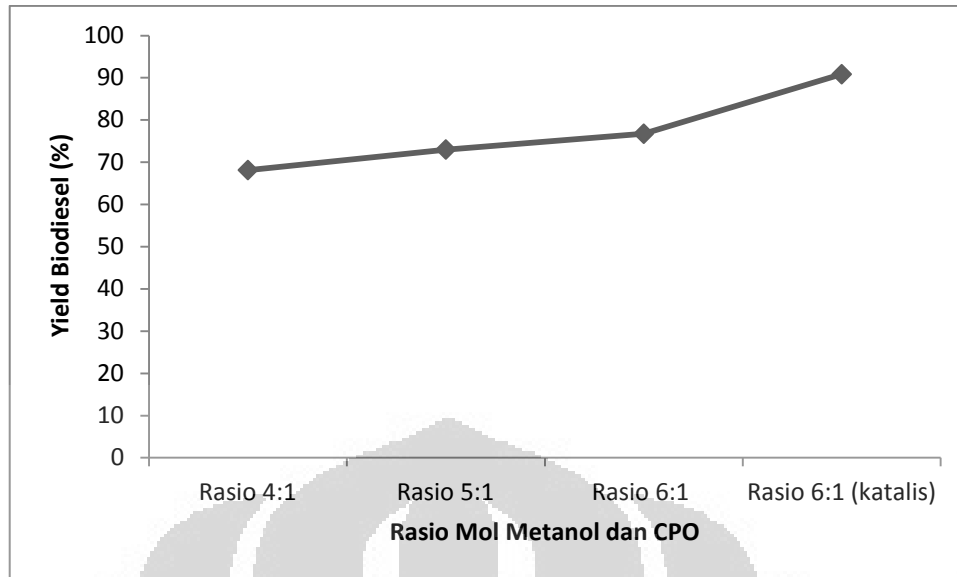
Gambar 4. 20 Yield biodiesel pada Reaksi Biodiesel pada Rasio Mol Metanol dan CPO 6:1 untuk Kecepatan 11 m/s.

Yield biodiesel untuk variasi rasio mol metanol dan CPO menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio mol metanol dalam minyak maka yield biodiesel yang dihasilkan pun semakin tinggi. Adanya penggunaan katalis dalam reaksi biodiesel akan menambah yield biodiesel yang dihasilkan seperti yang terlihat pada Gambar 4.21, Reaksi katalitik menghasilkan yield biodiesel sebesar 90,83 %. Pada reaksi katalitik, metanol terlebih dulu bereaksi dengan basa untuk membentuk metoksi. Komponen ini jauh lebih reaktif daripada metanol sehingga reaksi katalitik akan lebih mudah berlangsung daripada reaksi non-katalitik (Hanna, et al. 1999).

KOH yang digunakan dalam katalis terlebih dahulu dilarutkan di dalam metanol yang akan direaksikan menurut persamaan reaksi



Tujuannya adalah agar metoksi dapat terbentuk dan mencegah katalis KOH bereaksi dengan asam lemak bebas terdapat pada CPO yang dapat mengakibatkan terjadinya reaksi saponifikasi. Pencampuran KOH terlebih dahulu dalam metanol dapat meminimalisir penggunaan air.



Gambar 4. 21 Yield biodiesel pada Reaksi Biodiesel pada waktu 60 menit untuk Kecepatan Jet 11 m/s.

4.4 Hubungan Hidrodinamika dan Reaksi pada Pembuatan Biodiesel Menggunakan Kolom Pancaran

Hidrodinamika merupakan sebuah studi yang berkaitan dengan sifat fluida dan tenaga yang menggerakkan fluida tersebut. Reaktor kolom pancaran didesain untuk dapat meningkatkan konversi suatu reaksi dari aspek hidrodinamika. Dengan memanfaatkan kecepatan aliran yang keluar dari jet, energi kinetik dihasilkan yang selanjutnya digunakan untuk melakukan proses pencampuran.

Dari hasil penelitian hidrodinamika berupa visualisasi aliran dengan menggunakan metode PLIF, proses pencampuran mencapai kondisi homogen pada waktu 45 detik dengan rasio mol metanol dan CPO 6:1. Pada waktu tersebut, konsentrasi rhodamine B sudah tercampur dalam campuran gliserol- air dan mencapai kondisi homogen. Kondisi ini berbeda dengan proses reaksi pembuatan biodiesel. Untuk mencapai konversi trigliserida dan yield biodiesel yang cukup tinggi pada reaksi nonkatalitik, dibutuhkan waktu reaksi hingga mencapai 60 menit. Orde waktu yang jauh berbeda antara proses *mixing* dan proses reaksi menunjukkan bahwa kondisi homogen dari suatu pencampuran belum menunjukkan terjadinya reaksi.

Proses *mixing* atau pencampuran hanya sebagai tahap awal sebelum kondisi konversi reaksi yang diinginkan tercapai. Proses *mixing* dibutuhkan pada tahap awal dimana molekul-molekul antara dua atau lebih fluida dapat berinteraksi dan menghasilkan suatu energi akibat adanya tumbukan untuk mengarah kepada proses reaksi.

Peristiwa *mixing* terjadi saat fluida statis menumbuk fluida dinamis dari jet yang membantu mengatasi rintangan metanol untuk bercampur dengan minyak. Fluida dinamis berdifusi dengan fluida statis di dalam kolom. Pada bagian sebelumnya dilakukan perhitungan untuk bilangan Schmidt pada proses *mixing* maupun reaksi. Bilangan Schmidt yang jauh di atas 1 menunjukkan difusivitas momentum yang dalam hal ini adalah viskositas lebih dominan dibanding fenomena difusi itu sendiri.

Berdasarkan studi hidrodinamika yang sudah dilakukan, proses pencampuran lebih cepat dibanding proses reaksi. Bilangan Schmidt Rhodamine B lebih besar dari metanol pada cairan dengan viskositas yang sama, maka metanol berdifusi lebih singkat dibanding Rhodamine B. Hal yang menjadi masalah adalah pada kondisi ambient reaksi tidak mempunyai cukup energi dalam untuk mengatasi energi aktivasi yang dibutuhkan.

Parameter bilangan tak berdimensi lainnya yaitu Bilangan Damkohler yang merupakan rasio antara laju pencampuran dengan laju reaksi pada reaksi. Salah satu persamaan Damkohler adalah

(4.3)

keterangan:

τ_M = laju pencampuran

τ_R = laju reaksi

Bilangan Damkohler dalam reaksi pembuatan biodiesel ini adalah

Bilangan Damkohler $\ll 1$ menunjukkan faktor yang paling berperan dalam reaksi sintesis biodiesel adalah laju reaksi dibanding peristiwa *mixing* yang

ada. Pada reaksi pembuatan biodiesel, proses *mixing* yang terjadi belum menghasilkan suatu energi minimum yang dibutuhkan untuk membentuk kompleks teraktivasi dalam mencapai suatu reaksi atau yang biasa dikenal sebagai energi aktivasi. Reaksi transesterifikasi biodiesel merupakan jenis reaksi eksoterm. Hal ini terlihat dari suhu campuran yang meningkat mencapai di atas 60°C selain dari adanya faktor gaya gesek di dalam pompa. Pada reaksi eksoterm, reaksi berlangsung lambat karena energi aktivasinya lebih besar dibanding energi molekulnya sehingga hanya sebagian kecil molekul yang mencapai energi aktivasinya.

Kondisi homogen pada proses *mixing* hanya menunjukkan kondisi awal dari suatu proses reaksi. Bilangan damkohler yang lebih rendah dari 1 menunjukkan bahwa reaksi lebih mengontrol proses pembentukan produk dibanding peristiwa *mixing* itu sendiri. Untuk mencapai reaksi dibutuhkan energi aktivasi minimum. Terdapat faktor lain yang mempengaruhi peristiwa reaksi berdasarkan persamaan Arrhenius

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (4.4)$$

keterangan:

k = konstanta laju reaksi

E_a = energi aktivasi (kJ/mol)

T = suhu mutlak (K)

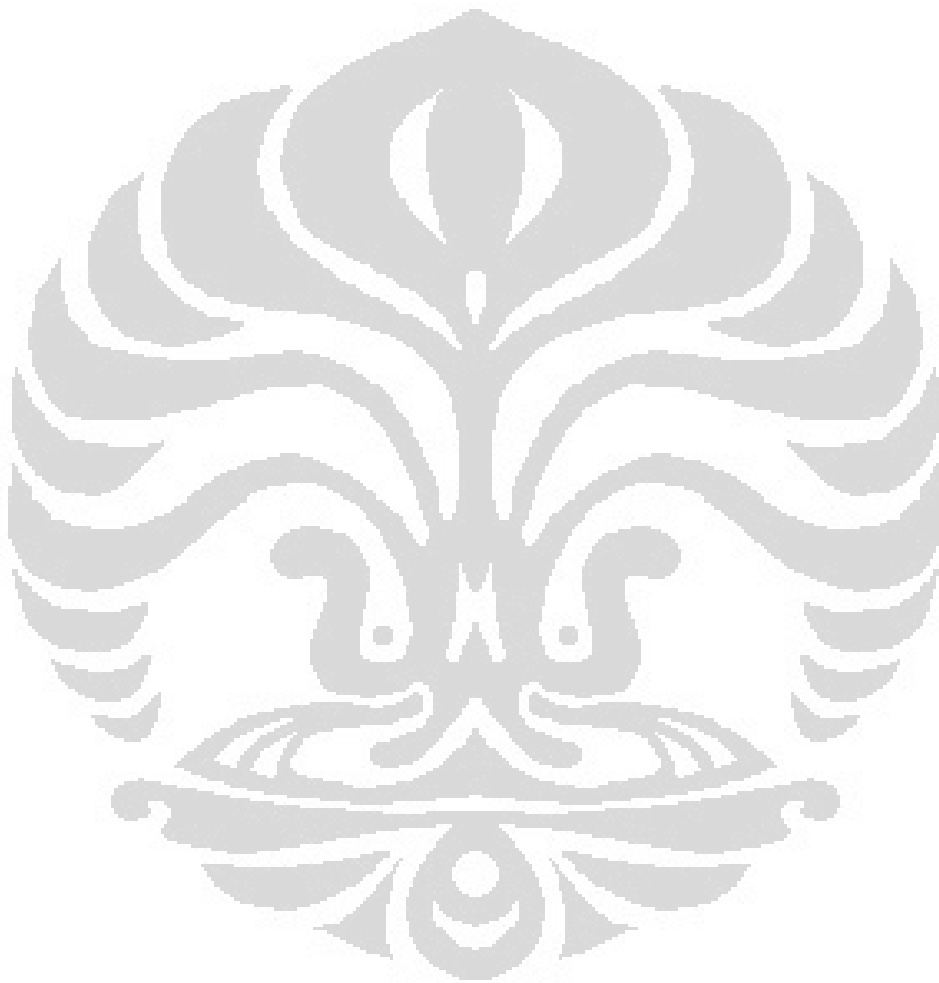
R = konstanta gas ideal (8,314 J/mol.K)

e = bilangan pokok logaritma natural (ln)

A = konstanta frekuensi tumbukan (faktor frekuensi).

Laju reaksi merupakan perubahan konsentrasi terhadap waktu. Semakin tinggi konsentrasi, maka laju reaksi pun semakin cepat untuk waktu yang sama. Semakin rendah energi aktivasi dari suatu reaksi, maka laju reaksi akan semakin besar dan semakin banyak reaktan yang terkonversi menjadi produk seiring adanya penambahan waktu. Salah satu parameter lain yang mempengaruhi laju reaksi adalah suhu. Kenaikan suhu akan berdampak pada kenaikan energi kinetik rata-rata molekul. Energi kinetik minimum yang dimiliki molekul harus minimal sama atau lebih besar dari energi aktivasi agar reaksi dapat berlangsung.

Penggunaan katalis juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan laju reaksi. Katalis dapat memberikan mekanisme alternatif atau jalur reaksi yang memiliki energi aktivasi yang lebih rendah dari reaksi aslinya. Reaksi yang lebih singkat pun dapat dicapai dengan adanya penggunaan katalis.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Pada variasi kecepatan jet 5, 8, dan 11 m/s, hasil pencampuran dengan kecepatan jet 11 m/s pada waktu 25 detik menunjukkan *mixing* yang lebih homogen. Sedangkan rasio mol metanol dan CPO yang semakin tinggi menghasilkan kondisi homogen yang lebih cepat dicapai.
2. *Elliptic Jet* memiliki laju penyebaran aliran yang lebih besar dibanding jenis jet lain karena aspek rasio yang lebih tinggi. Tingginya aspek rasio ini menyebabkan *entrainment* yang lebih baik antara jet dan fluida statis.
3. Pada reaksi non katalitik, *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin tinggi seiring penambahan waktu. Pada waktu 60 menit, *yield* biodiesel mencapai 76,73 %. Hasil *yield* yang lebih baik ditunjukkan pada reaksi katalitik dengan menggunakan katalis basa KOH yaitu sebesar 90,83 %.
4. Pada reaksi pembuatan biodiesel, proses *mixing* menunjukkan bahwa reaktan telah bercampur dan homogen dalam orde waktu yang lebih cepat dibanding reaksi.
5. Proses *mixing* dibutuhkan pada tahap awal dimana molekul-molekul antara dua atau lebih fluida dapat berinteraksi dan menghasilkan suatu energi akibat adanya tumbukan yang mengarah kepada proses reaksi.

5.2 Saran

1. Pompa yang tidak stabil menyebabkan adanya aliran fluida yang keluar pada bagian pipa penyalur udara. Untuk itu perlu dilakukan pertimbangan dalam mendesain kolom yang lebih baik.
2. Peningkatan konversi pada reaksi sintesis biodiesel dari segi hidrodinamika tidak menambah hasil konversi secara signifikan. Untuk itu perlakuan seperti bentuk jet yang berbeda, penambahan kecepatan jet tanpa adanya faktor laju reaksi seperti suhu dan penggunaan katalis, tidak berpengaruh banyak pada hasil *yield* biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Atadashi, I. M., et al., (2012). Production Of Biodiesel Using High Free Fatty Acid Feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 3275– 3285.
- Badan Standardisasi Nasional. (2006). *Standar Biodiesel Menurut Standar Nasional Indonesia*. SNI 04-7182-2006.
- Collignon, M. L., Dossin, D., Delafosse, A., Crine, M., & Toye, D. (2010). Quality of mixing in a stirred bioreactor used for animal cells culture: heterogeneities in a lab scale bioreactor and evolution of mixing time with scale up. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2010 14(S2), 585-591.
- Dantec Dynamic's Article. (2011). *Particle Image Velocimetry Measurement Principles*. 15 Mei 2012
<http://www.dantecdynamics.com/Default.aspx?ID=820>.
- De Oliveira E, et. al., (2006) Heats of combustion of biofuels obtained by pyrolysis and by transesterification and of biofuel/diesel blends. *Thermochim. Acta* 450: 87–90.
- Ding, R., Revstedt, dan Fuchs, L. (2003). LIF Study of Mixing in Circular Imploding Jets Effect of Boundary Conditions. Proceedings of PSFVIP-4. Lund Institute of Technology, Sweden.
- Direktur Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2008. *Solusi Aplikatif dan Realistis Menangani Masalah Kelistrikan di Indonesia*. Di dalam: *Seminar "Energy, Today, and Tomorrow"*; Jakarta, 22 November 2008.
- Freedman, B., E.H. Pryde, dan T.L. (1984). Mounts, Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61: 1638–1643.
- Hasegawa, Y. dan Kasagi, N., (2001) *The Effect of Schmidt Number on Air-Water Interface Mass Transfer*. Proceedings of The 4th International Conference on Multiphase Flow May 27 to June 1, 2001.
- Hikmah, M. N., dan L., Zuliyana. (2010). *Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Dedak Dan Metanol Dengan Proses Esterifikasi Dan*

- Transesterifikasi*. Skripsi Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ide, Mitsuharu. et al. (2001). Mass Transfer Characteristics in Gas Bubble Dispersed Phase Generated by Plunging Jet Containing Small Solute Bubbles. *J. Chem. Eng. Sci.*, 56, . 6225 – 6231.
- Lorceau, E., Quere, D., dan Eggers, J. (2004). Air Entrainment by a Viscous Jet Plunging into a Bath. School of Mathematics, University of Bristol, United Kingdom.
- Joelianingsih, et al. (2008). Biodiesel fuels from palm oil via the non-catalytic transesterification in a bubble column reactor at atmospheric pressure: A kinetic study. *Science Direct, Renewable Energy* 33, 1629 – 1626.
- Karnanim. (Juli, 2010). *Sintesis Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Sawit Menggunakan Reaktor Jet Bubble Column*. Skripsi Program Sarjana. Universitas Indonesia, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik.
- Lee, S. Dan Tsui, P. 1999. Succeed at Gas/Liquid Contacting. *Journal American Institute of Chemical Engineering*.
- Leung, D. Y. C & Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. *Fuel Process Technol*; 87:833-90.
- Liu, G. & Evans, G. (1998). Gas entrainment and gas holdup in a confined plunging liquid jet reactor. *Journal Multiphase Newcastle*.
- Mandal, et al. (2005). A Comparative Study of Gas Holdup, Bubble Size distribution and Interfacial Area in A Downdraw Bubble Column. *Trans IChemE, Chemical Engineering Research and Design*, 83(A4): 423–428.
- Mekhilef, S., et al. 2010. A Review on Palm Oil Biodiesel as a Source of Renewable Fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 1937–1949.
- Moser, Bryan. 2009. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cell.Dev.Biol.—Plant* (2009) 45:229–266.
- Munsanif, Jamil. (2007). *Biodiesel*. Subdit Pengelolaan Lingkungan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian.

- Nosratinia, F. et al., 2010. Investigation of Mass Transfer Coefficient under Jetting Conditions in a Liquid-Liquid Extraction System. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* Vol. 29, No. 1.
- Nurhanjati, K. I. 2011. *Pengaruh Hidrodinamika Pada Jet Bubble Column Terhadap Konversi Reaksi Pembuatan Biodiesel Dari Crude Palm Oil (CPO)*, Skripsi Sarjana.
- Knothe, Gerhard. (2005). *The Biodiesel Handbook*. USA, AOCS Press. Hal 1-2
- Poram (2011). *World Palm Oil Production*.
www.poram.org.my/v1/.../3.%20World%20PalmOil%20Production
- Ramesh et al., (2000) Studies on Frejets from Nozzles for High-Speed Mixing Application. *Experiments in Fluids*, Springer-Verlag. 359-368. INI OKE BUAT JURNAL
- Resti, Dyah Ayu dan Zibbeni, Ali. (2008). *Pengaruh Stir Washing, Bubble Washing, dan Dry Washing terhadap Kadar Metil Ester dalam Biodiesel dari Biji Nyamplung(Calophyllum inophyllum)*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Salewski, M., Stankovic, D., & Fuchs, L. (2007). *Mixing in Circular and Non-Circular Jets in Crossflow*. Lund University, Division Fluid Mechanics. September, 2007.
- Schadow K. C, Gutmark, E, dan Wilson, K.J. (18740. Compressible Spreading Rates of Supersonic Coaxial Jets. *Exp Fluids* 30: 161-167
- Suchardt et. al., (1998). Transesterification of Vegetable Oils: a Review. *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 9, No. 1, 199-210.
- Setiadi, Hantizen, Tania, N., Heru, B., & Supramono, D. (2008a). *Kemampuan Kolom Gelembung Pancaran (Jet Bubble Column) untuk Mereduksi Kandungan Gas CO₂*. Universitas Indonesia, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik.
- Setiawan, Agus. (2010). *Pengaruh Waktu Transesterifikasi Minyak Biji Alpukat Dan Variasi Persentase Metanol Terhadap Sifat Fisik Biodiesel*. Skripsi Program Sarjana. Univesitas Brawijaya.
- Soetrisno, Noer. 2008. Peranan Industri Sawit dalam Pengembangan Ekonomi Regional: Menuju Pertumbuhan Partisipatif Berkelanjutan. Di dalam:

Seminar Nasional Dampak Kehadiran Perkebunan Kelapa Sawit terhadap Kesejahteraan Masyarakat Sekitar di Universitas Sumatera Utara; Medan, 6 Desember 2008.

Sommerfeld, M. & Broder, D. (2009). Analysis of Hydrodynamics and Microstructure in a Bubble Column by Planar Shadow Image Velocimetry. *Ind. Eng. Chem. Res.*48, 330–340.

Supramono, D. dan Setiadi. 2011. *Pemanfaatan High Shear pada Jet Bubble Column untuk Meningkatkan Efisiensi Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO)*, Hibah Riset Strategis Nasional Tahun 2011.

Schwab, A.W., M.O. Bagby, and B. Freedman, Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils, *Fuel* 66: 1372–1378 (1987).

Saravanan, et. al., 2010. Studies on Some Aspects of Jet Mixers I : *Hydrodynamics. Modern Applied Science*. Vol 4 No 3.

The Jakarta Post. (2012). *RI Becomes World's Biggest Sustainable Palm Oil Producer*. <http://www.thejakartapost.com/news/2012/05/03/ri-becomes-worlds-biggest-sustainable-palm-oil-producer.html>.

Univeristy of Cambridge. (2009). *Quantitative Fluorescence Imaging*. June 5, 2012.

http://laser.cheng.cam.ac.uk/wiki/index.php/Fluorescence_imaging

Van Loon, L. L., Allen, H. C., & Wyslouzil, B. E. (2008). Effective Diffusion Coefficients for Methanol in Sulfuric Acid Solutions Measured by Raman Spectroscopy. *J. Phys. Chem. A*, 2008. October 7.

Webster, D. R., Roberts, J. W., & Ra'ad, L. (2001). Simultaneous DPTV/PLIF measurements of a turbulent jet. *Experiments in Fluids* 30 (2001) 65-72 Springer-Verlag 2001.

LAMPIRAN

Tabel 1 Input Nilai Level Emisi Proses
Pencampuran pada Rasio 4:1, Kecepatan 11
m/s dan Waktu 20 detik

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	116	0.455
1	121	0.475
1.5	125	0.490
2	130	0.510
2.5	134	0.525
3	141	0.553
3.5	143	0.561
4	152	0.596
4.5	154	0.604
5	157	0.616
5.5	159	0.624
6	162	0.635
6.5	162	0.635
7	168	0.659
7.5	167	0.655
8	165	0.647
8.5	164	0.643
9	163	0.639
9.5	158	0.620

Tabel 2 Input Nilai Level Emisi Proses
Pencampuran pada Rasio 4:1, Kecepatan 11
m/s dan Waktu 25 detik

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	112	0.439
1	120	0.471
1.5	125	0.490
2	127	0.498
2.5	135	0.529
3	140	0.549
3.5	145	0.569
4	147	0.576
4.5	149	0.584
5	150	0.588
5.5	156	0.612
6	162	0.635
6.5	160	0.627
7	158	0.620
7.5	160	0.627
8	157	0.616
8.5	160	0.627
9	151	0.592
9.5	135	0.529

Tabel 3 Input Nilai Level Emisi Proses
Pencampuran pada Rasio 4:1, Kecepatan 11
m/s dan Waktu 30 detik

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	92	0.361
1	98	0.384
1.5	105	0.412
2	108	0.424
2.5	114	0.447
3	120	0.471
3.5	125	0.490
4	132	0.518
4.5	137	0.537
5	139	0.545
5.5	140	0.549
6	145	0.569
6.5	149	0.584
7	150	0.588
7.5	150	0.588
8	147	0.576
8.5	149	0.584
9	151	0.592
9.5	142	0.557

Tabel 4 Input Nilai Level Emisi Proses
Pencampuran pada Rasio 5:1, Kecepatan 11
m/s dan Waktu 20 detik

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	120	0.471
1	128	0.502
1.5	132	0.518
2	135	0.529
2.5	137	0.537
3	138	0.541
3.5	146	0.573
4	145	0.569
4.5	149	0.584
5	150	0.588
5.5	153	0.600
6	150	0.588
6.5	152	0.596
7	153	0.600
7.5	155	0.608
8	158	0.620
8.5	155	0.608
9	151	0.592
9.5	145	0.569

Tabel 5 Input Nilai Intensitas Gambar
Proses Pencampuran pada Kecepatan 11
m/s , Waktu 25 detik, Rasio Mol 5:1

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	103	0.404
1	105	0.412
1.5	110	0.431
2	110	0.431
2.5	118	0.463
3	119	0.467
3.5	120	0.471
4	125	0.490
4.5	136	0.533
5	137	0.537
5.5	140	0.549
6	141	0.553
6.5	142	0.557
7	141	0.553
7.5	143	0.561
8	144	0.565
8.5	141	0.553
9	132	0.518
9.5	122	0.478

Tabel 6 Input Nilai Intensitas Gambar
Proses Pencampuran pada Kecepatan 11 m/s
, Waktu 30 detik, Rasio Mol 5:1

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	95	0.373
1	105	0.412
1.5	106	0.416
2	108	0.424
2.5	115	0.451
3	116	0.455
3.5	124	0.486
4	124	0.486
4.5	130	0.510
5	134	0.525
5.5	136	0.533
6	138	0.541
6.5	138	0.541
7	139	0.545
7.5	140	0.549
8	141	0.553
8.5	137	0.537
9	132	0.518
9.5	125	0.490

Tabel 7 Input Nilai Intensitas Gambar
 Proses Pencampuran pada Kecepatan 11 m/s
 , Waktu 20 detik, Rasio Mol 6:1

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	84	0.329
1	89	0.349
1.5	91	0.357
2	97	0.380
2.5	99	0.388
3	100	0.392
3.5	102	0.400
4	104	0.408
4.5	108	0.424
5	112	0.439
5.5	117	0.459
6	122	0.478
6.5	120	0.471
7	127	0.498
7.5	128	0.502
8	121	0.475
8.5	125	0.490
9	122	0.478
9.5	116	0.455

Tabel 8 Input Nilai Intensitas Gambar
 Proses Pencampuran pada Kecepatan 11 m/s
 , Waktu 25 detik, Rasio Mol 6:1

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	81	0.318
1	85	0.333
1.5	89	0.349
2	94	0.369
2.5	98	0.384
3	99	0.388
3.5	99	0.388
4	102	0.400
4.5	104	0.408
5	109	0.427
5.5	115	0.451
6	116	0.455
6.5	117	0.459
7	122	0.478
7.5	120	0.471
8	120	0.471
8.5	125	0.490
9	125	0.490
9.5	117	0.459

Tabel 9 Input Nilai Intensitas Gambar Proses Pencampuran pada Kecepatan 11 m/s , Waktu 25 detik, Rasio Mol 6:1

Posisi	Level RGB	Level Emisi
0.5	82	0.322
1	87	0.341
1.5	91	0.357
2	95	0.373
2.5	96	0.376
3	97	0.380
3.5	98	0.384
4	101	0.396
4.5	103	0.404
5	108	0.424
5.5	115	0.451
6	116	0.455
6.5	115	0.451
7	120	0.471
7.5	124	0.486
8	122	0.478
8.5	119	0.467
9	117	0.459
9.5	115	0.451

Tabel 11 Perhitungan Kadari Air Produk Biodiesel (%)

Rasio	Waktu Reaksi (menit)	massa wadah kosong (gram)	massa wadah + sampel sebelum pemanasan (gram)	massa wadah + sampel setelah pemanasan (gram)	Massa air yang hilang (gram)	Massa sampel	Kadar air (%)
rasio 4:1	60	79.11397	123.014	122.4538	0.5602	43.90003	1.276081
rasio 5:1	60	104.8143	153.0126	152.8498	0.1628	48.1983	0.337771
rasio 6:1	20	53.2567	67.3121	67.2695	0.0426	14.0554	0.303086
rasio 6:1	40	79.11397	117.4015	117.3205	0.081	38.28753	0.211557
rasio 6:1	60	104.8143	150.1955	150.0947	0.1008	45.3812	0.222118
rasio 6:1	60 (katalis)	66.3431	108.5379	108.0593	0.4786	42.1948	1.134263

Tabel 12 Perhitungan Bilangan Asam Hasil Produk Biodiesel

Rasio	Waktu Reaksi (menit)	Massa sampel (gram)	Volume KOH yang dibutuhkan (ml)	Normalitas KOH (N)	Bilangan Asam (mg KOH/g minyak)
4:1	60	4	0.25	0.1	0.35066
5:1	60	4	0.4	0.1	0.561056
6:1	20	4	0.4	0.1	0.561056
6:1	40	4	0.1	0.1	0.140264
6:1	60	4	0.1	0.1	0.140264
6:1 (katalis)	60	4	0.3	0.1	0.420792

Tabel 13 Hasil Pembacaan Luas Area Tiap Komponen pada Uji HPLC

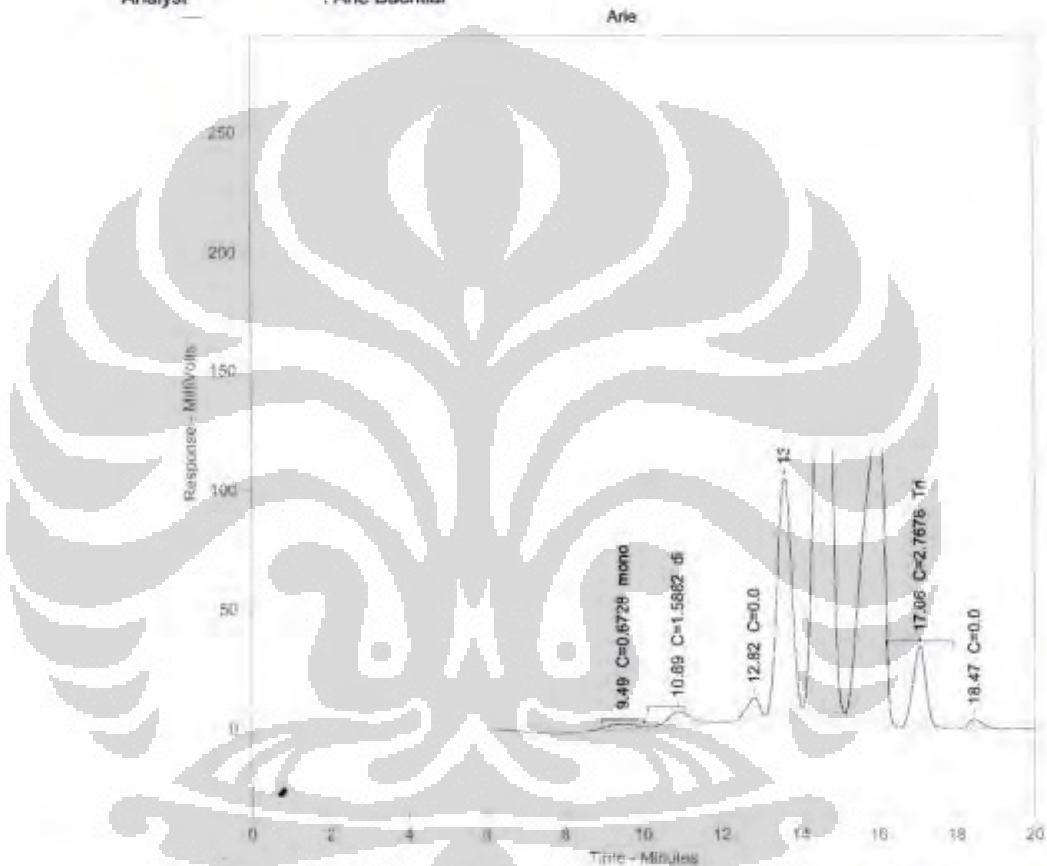
Rasio	t (menit)	Luas Area	Konsentrasi (mol/l)	Luas Area	Konsentrasi (mol/l)	Luas Area	Konsentrasi (mol/l)	Luas Area	Konsentrasi (mol/l)
			Tri Oleat		Di Oleat		Mono Oleat		FAME
Rasio 4:1	60	459232	0.008115	0	0	420308	0.01166	73985	0.01022
Rasio 5:1	60	245747	0.004345	0	0	457631	0.012695	79270	0.01095
Rasio 6:1	20	668761	0.01182	138130	0.00471	257992	0.007155	0	0
Rasio 6:1	40	638000	0.011275	1486835	0.005065	111406	0.00309	0	0
Rasio 6:1	60	264650	0.004675	0	0	371014	0.01029	83295	0.01151
Rasio 6:1 (katalis)	60	448905	0.007935	542650	0.018495	0	0	98621	0.013625

Tabel 14 Hasil Perhitungan Konversi Trigliserida dan Yield Biodiesel

Rasio	t (menit)	Konversi Trigliserida (%)	Yield Biodiesel (%)
Rasio 4:1	60	41.3522	68.13333333
Rasio 5:1	60	71.0333	73
Rasio 6:1	20	14.5935	0
Rasio 6:1	40	24.8333	0
Rasio 6:1	60	68.8333	76.73333333
Rasio 6:1 (katalis)	60	47.1000	90.83333333

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : **CPO**
 Method File : Biodisel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 2012-01-12
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.707	68659	0.000	
2	3.999	507086	0.000	
3	4.943	754247	0.000	
4	9.487	121278	0.673	mono
5	10.889	232971	1.588	di
6	12.824	186537	0.000	
7	13.606	2417358	0.000	
8	14.669	5808899	0.000	
9	15.987	4792003	0.000	
10	17.062	783033	2.768	Tri
11	18.467	103583	0.000	


HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

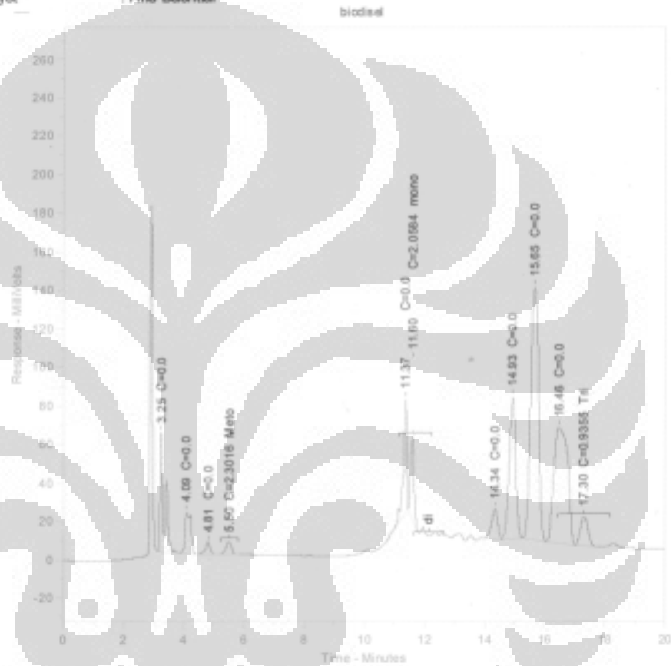
File Name : Desi / A
 Method File : Biodiesel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licrosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Arie Bachtar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.461	855718	0.000	
2	4.254	263043	0.000	
3	4.867	75619	0.000	
4	5.582	79270	2.190	Meto
5	11.320	457631	2.539	mono
6	11.560	386756	0.000	
7	14.365	204139	0.000	
8	14.951	1013002	0.000	
9	15.685	2238723	0.000	
10	16.519	1777971	0.000	
11	17.351	245747	0.869	Tri

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

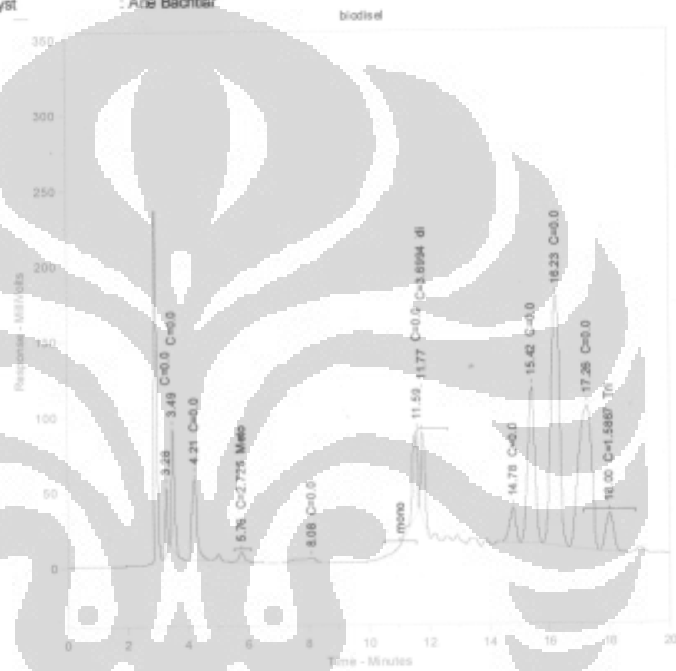
File Name : Desi / 
 Method File : Biodisel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.248	573779	0.000	
2	4.090	268113	0.000	
3	4.811	67660	0.000	
4	5.498	83295	2.302	Meto
5	11.368	435617	0.000	
6	11.605	371014	2.058	mono
7	14.343	213368	0.000	
8	14.826	1083263	0.000	
9	15.863	2419624	0.000	
10	16.456	1916794	0.000	
11	17.305	264650	0.935	Tri

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

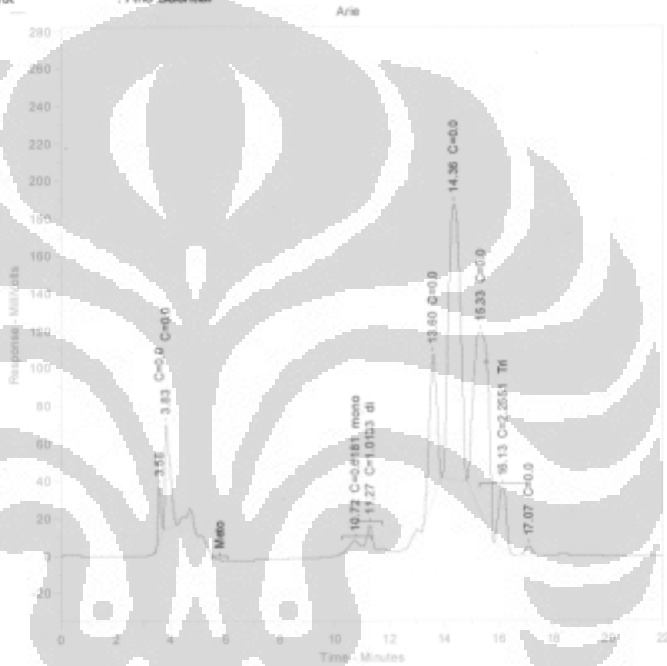
File Name : Desi / C
 Method File : Biodisel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licrosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Ade Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.277	216013	0.000	
2	3.488	506076	0.000	
3	4.208	683878	0.000	
4	5.763	98521	2.725	Meto
5	8.082	141750	0.000	
6	11.591	683422	0.000	
7	11.775	542850	3.699	di
8	14.784	340584	0.990	
9	15.415	1675896	0.000	
10	16.230	3318289	0.000	
11	17.257	2870751	0.000	
12	17.995	448905	1.587	Tri

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

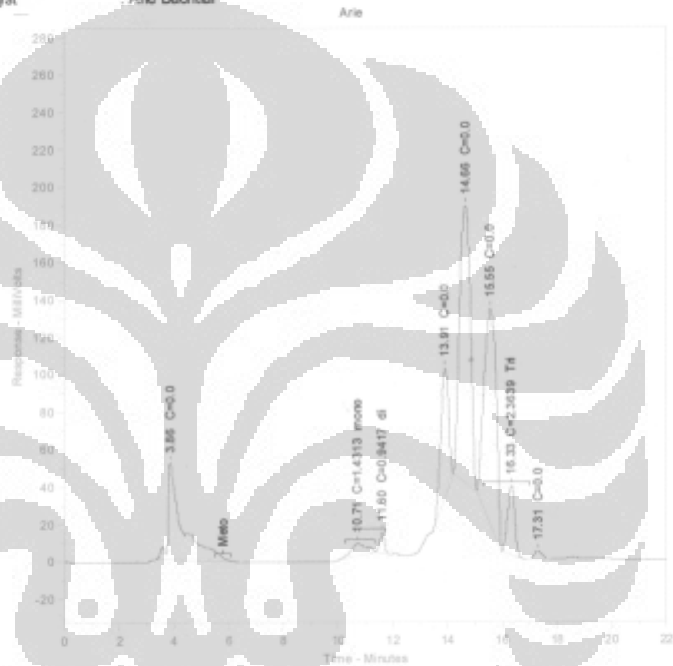
File Name : Desi / D
 Method File : Biodiesel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licrosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.582	220176	0.000	
2	3.835	760302	0.000	
3	10.723	111406	0.818	mono
4	11.275	148635	1.013	di
5	13.599	1535884	0.000	
6	14.356	4335317	0.000	
7	15.333	3875139	0.000	
8	16.132	638000	2.255	Tri
9	17.074	97387	0.000	

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

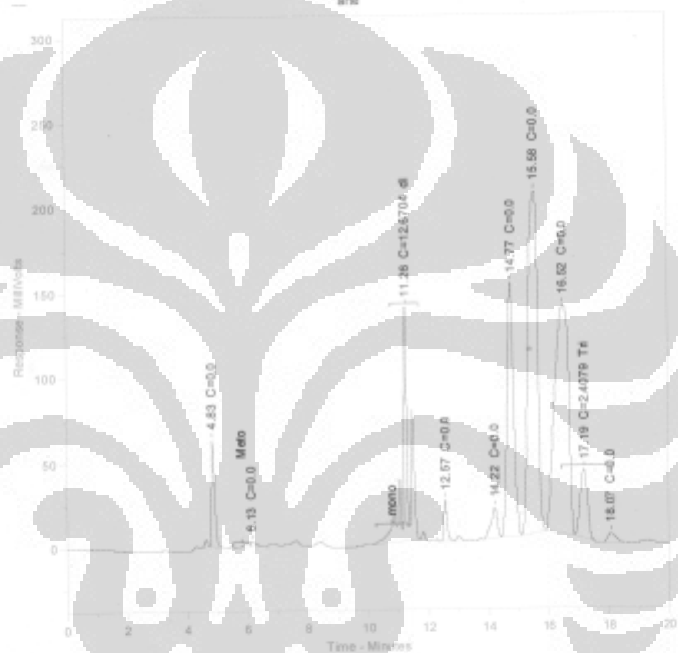
File Name : Desi / C
 Method File : Biodiesel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licrosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.855	1925560	0.000	
2	10.712	257992	1.431	mono
3	11.601	139130	0.942	di
4	13.907	1350698	0.000	
5	14.659	4041090	0.000	
6	15.554	3562422	0.000	
7	16.332	668761	2.364	Tri
8	17.307	87560	0.000	

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

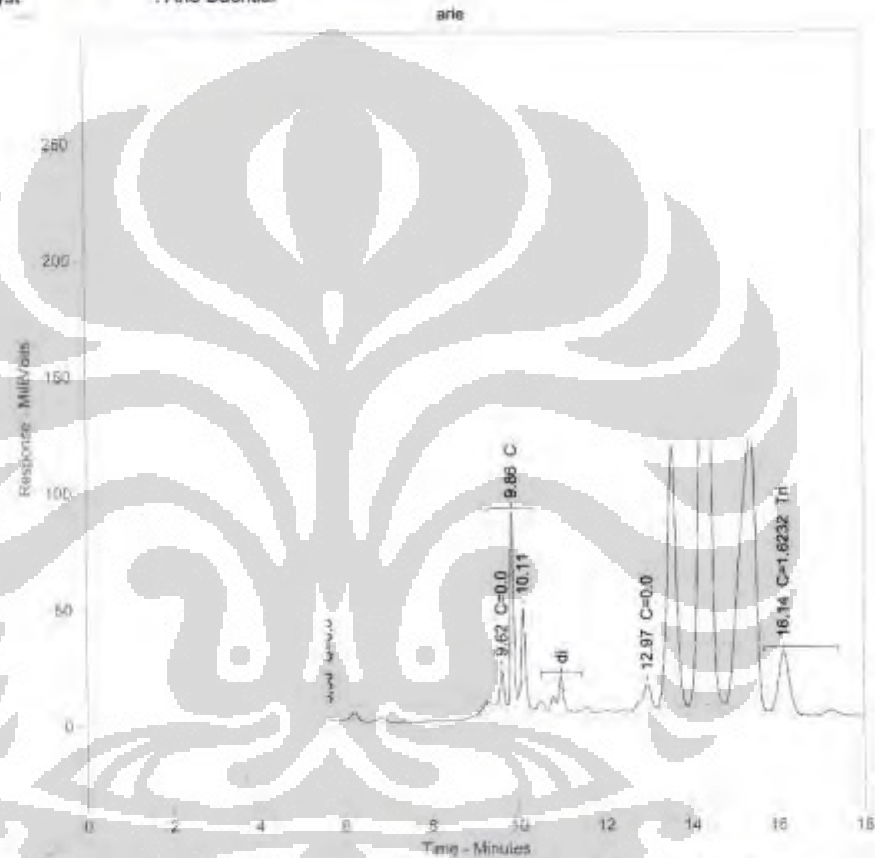
File Name : Desi / F
 Method File : Biodisel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licrosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Arie Bachtar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	4.835	425906	0.000	
2	6.132	58241	0.000	
3	11.260	1853586	12.670	di
4	12.568	176994	0.000	
5	14.216	257719	0.000	
6	14.772	2257836	0.000	
7	15.579	4495085	0.000	
8	16.524	4295758	0.000	
9	17.157	881215	2.438	Tri
10	18.074	97644	0.000	

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : **SAMPel**
 Method File : Biodisel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : **22 Mei 2012**
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.448	73985	2.044	Meto
2	5.557	35731	0.000	
3	9.617	167725	0.000	
4	9.856	420308	2.332	mono
5	10.108	240107	0.000	
6	12.967	156362	0.000	
7	13.555	1613218	0.000	
8	14.376	3617978	0.000	
9	15.387	3033996	0.000	
10	16.143	459232	1.623	Tri

