



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS VISUALISASI DAN REAKSI DALAM
PENINGKATAN KONVERSI PEMBUATAN BIODIESEL DARI
CRUDE PALM OIL (CPO) PADA KOLOM PANCARAN
DENGAN *CIRCULAR JET***

SKRIPSI

**ICHWAN AGUSTA ELFAJRIE
0806333120**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS VISUALISASI DAN REAKSI DALAM
PENINGKATAN KONVERSI PEMBUATAN BIODIESEL DARI
CRUDE PALM OIL (CPO) PADA KOLOM PANCARAN
DENGAN *CIRCULAR JET***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**ICHWAN AGUSTA ELFAJRIE
0806333120**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ichwan Agusta Elfajrie

NPM : 0806333120

Tanda Tangan :

Tanggal : 27 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ichwan Agusta Elfajrie
NPM : 0806333120
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Analisis Visualisasi dan Reaksi dalam
Peningkatan Konversi Pembuatan Biodiesel dari
Crude Palm Oil (CPO) pada Kolom Pancaran
dengan *Circular Jet*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dijan Supramono, M.Sc. (Dijan)
Penguji : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT (Praswasti)
Penguji : Dr. Ir. Asep H. Saputra, M. Eng (Asep)
Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT (Nelson)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam, karena atas kasih sayang dan pertolongan-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat bersyukur atas bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Dijan Supramono, M.Sc., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan jawaban atas semua pertanyaan yang saya ajukan. Bantuan, bimbingan, arahan, dan masukan yang diberikan kepada saya sangat berarti sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
2. Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan Universitas Indonesia yang banyak membantu dan mengarahkan saya dalam melaksanakan kegiatan penelitian di laboratorium;
3. Mang Ijal yang sangat membantu saya dalam episode luar biasa pembuatan rangkaian *jet column*;
4. Mas Eko atas bantuannya dalam peminjaman dan penggunaan alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian dilakukan;
5. Orang tua yang selalu memberikan bantuan moral dan material serta mendoakan saya selama ini. Kasih sayang kalian takkan dapat tergantikan;
6. Ichlas Afriansyah Afif, si adik yang mulai dewasa, atas bantuannya dalam level konsentrasi *grayscale* di saat terdesak;
7. Desy Christanti Amalia, rekan seperjuangan sesungguhnya, atas kesabaran, bantuan, dan semangat yang selalu menyenangkan. Terima kasih karena telah bersedia untuk berdiskusi dan saling mendukung satu sama lain selama proses penyelesaian skripsi ini;
8. Haryo Wibisono, Julian Siahaan, Muhammad Firzi, Farah Inayati, dan Mada Indra Harahap, para sahabat yang selalu menyusahkan. Terima kasih untuk kebaikan-kebaikan tulus kalian dan maafkan kelucuan-kelucuan saya;

9. Harsono yang baik hati dalam mencari jurnal-jurnal internasional berbayar yang berguna dalam penulisan skripsi ini;
10. Kawan-kawan Teknik Kimia UI 2008 yang selalu mendukung saya dalam proses penyelesaian skripsi ini;
11. Maria Linawati dan Danny Putra Rahmansyah, atas hiburan-hiburan berkelas yang selalu hebat;
12. Kezia Elkardiana Titi atas perhatian, bantuan, motivasi, dan kesabaran yang tulus dalam segala hal sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan optimal;
13. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala bantuannya selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap agar Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 27 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA
ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Ichwan Agusta Elfajrie
NPM : 0806333120
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

“Analisis Visualisasi dan Reaksi dalam Peningkatan Konversi Pembuatan Biodiesel dari *Crude Palm Oil* (CPO) pada Kolom Pancaran dengan *Circular Jet*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 27Juni 2012

Yang menyatakan


(Ichwan Agusta Elfajrie)

ABSTRAK

Nama : Ichwan Agusta Elfajrie
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Analisis Visualisasi dan Reaksi dalam Peningkatan
Konversi Pembuatan Biodiesel dari *Crude Palm Oil* (CPO)
pada Kolom Pancaran dengan *Circular Jet*

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yang terdiri atas ester alkil dan dibuat menggunakan reaksi transesterifikasi. Tingginya viskositas minyak nabati menyebabkan reaksi berjalan lambat. Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh hidrodinamika terhadap optimasi proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan reaktor *jet column*. Variabel bebas penelitian adalah kecepatan jet (5, 8, 11 m/s) dan rasio mol metanol terhadap CPO (6:1, 5:1, dan 4:1). Metode LIF (*Laser Induced Fluorescence*) digunakan untuk menganalisis pengaruh dari variabel bebas untuk mencapai pencampuran homogen. Semakin tinggi kecepatan jet dan rasio mol, semakin tinggi laju pencampuran. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pencampuran homogen tidak lebih dari 20 detik untuk semua percobaan. Studi reaksi melibatkan reaksi nonkatalitik dan katalitik dengan katalis KOH. Reaktan CPO dan metanol direaksikan selama 60 menit dengan suhu 50-60°C untuk memperoleh *yield* biodiesel sebesar 80% untuk reaksi katalitik dan 60% untuk reaksi nonkatalitik. *Yield* biodiesel meningkat seiring dengan naiknya rasio mol dan kecepatan jet. Perbedaan laju pencampuran dan reaksi yang besar menunjukkan bahwa optimasi laju pencampuran tidak memengaruhi pembentukan produk akhir.

Kata kunci:

Analisis visualisasi, biodiesel, *Laser Induced Fluorescence*, pencampuran, reaktor *jet column*.

ABSTRACT

Name : Ichwan Agusta Elfajrie
Study Program: Chemical Engineering
Title : Visualization and Reaction Analysis for Improving Conversion
Of Crude Palm Oil (CPO) to Biodiesel in a Jet Column with
Circular Jet

Biodiesel is an alternative fuel to fossil fuel which contains alkyl esters and is made using a transesterification reaction. The high viscosity of vegetable oils leads to slow reactions. This study aims to determine the influence of mixing on the optimization process of making biodiesel using jet reactor column. The independent variables are jet velocity (5, 8, 11 m / s) and mole ratio of methanol to CPO (6:1, 5:1, and 4:1). LIF (Laser Induced Fluorescence) method has been used to analyze the effect of independent variables to achieve homogeneous mixing between reactants. The higher the jet velocity or the mole ratio, the higher is the mixing rate for all runs. Homogeneous mixing is achieved in less than 20 seconds. The study involved noncatalytic and catalytic reactions with KOH as a catalyst. CPO and methanol reactants were reacted for 60 minutes with the temperature 50-60°C to achieve 80% yield biodiesel (in case of catalytic condition) and 60% yield biodiesel (in case of noncatalytic condition). Biodiesel yield increased with increasing mole ratio and jet velocity. Large differences in the order of time between mixing and the reaction showed that the mixing optimization does not affect the rate of final product formation.

Key words:
biodiesel, jet column reactor, Laser Induced Fluorescence, mixing, visualization.

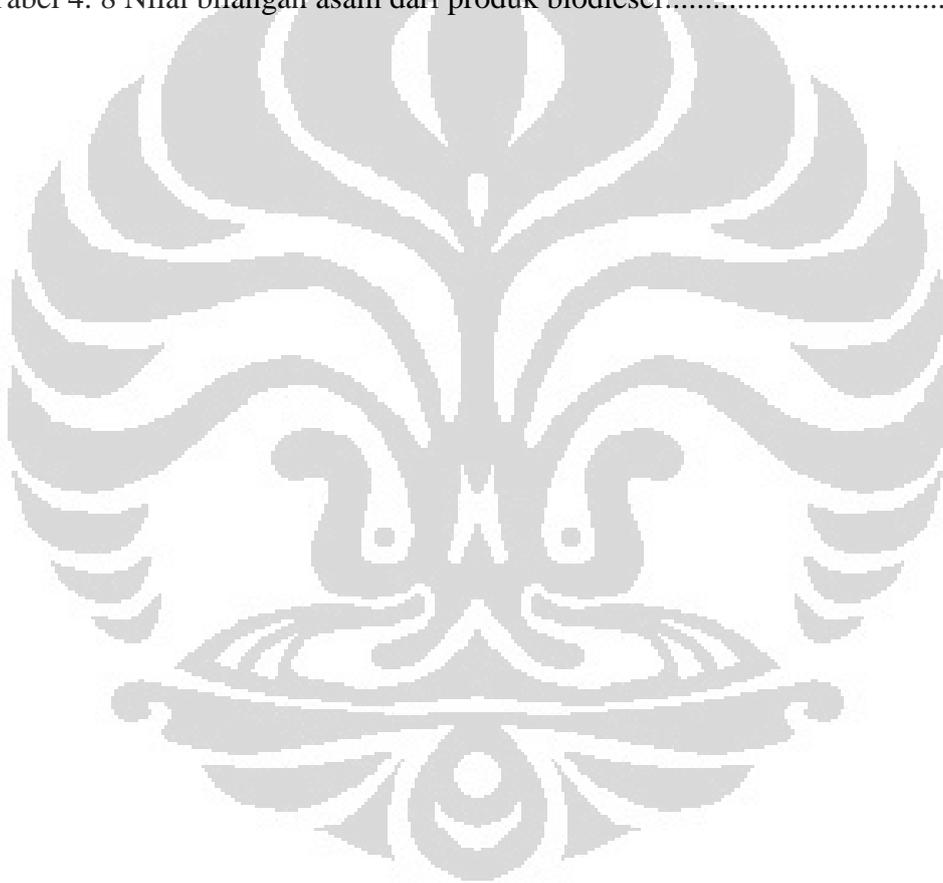
DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	III
HALAMAN PENGESAHAN.....	IV
KATA PENGANTAR	V
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	VII
ABSTRAK	VIII
ABSTRACT	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR TABEL.....	XII
DAFTAR GAMBAR	XIII
DAFTAR RUMUS	XV
DAFTAR LAMPIRAN.....	XVI
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2	7
2.1 Biodiesel.....	7
2.2 <i>Jet Column Reactor</i>	8
2.3 Pemilihan <i>Circular Jet</i>	12
2.4 Analisis Visualisasi	13
2.5 Studi Reaksi Biodiesel pada <i>Jet Column</i>	15
2.6 Penelitian Yang Berkaitan.....	17
BAB 3	18
3.1 Pendahuluan	18
3.2 Diagram Alir Penelitian	18
3.3 Skema Alat.....	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.4.1 Alat.....	21
3.4.2 Perangkat Lunak	22
3.4.3 Bahan	22
3.5 Prosedur Penelitian.....	22
3.5.1 Persiapan Awal	22
3.5.2 Persiapan Uji Operasi	23
3.5.3 Pengoperasian Rangkaian Alat	23
3.5.3.1 Pengoperasian Rangkaian Alat Analisis Visualisasi.....	23
3.5.3.2 Pengoperasian Rangkaian Alat Studi Reaksi Biodiesel.....	24
3.5.4 Teknik Pengambilan Sampel	24
3.5.4.1 Teknik Pengambilan Sampel Analisis Visualisasi.....	24
3.5.4.2 Teknik Pengambilan Sampel Studi Reaksi Biodiesel	24
3.6 Pengolahan dan Analisis Data.....	25
3.6.1 Analisis Kualitatif	25

3.6.2 Analisis Kuantitatif	25
3.6.2.1. Metode LIF (<i>Laser Induced Fluorescence</i>) untuk Analisis Visualisasi	26
3.6.2.2. Analisis % Yield Biodiesel dengan Uji HPLC (<i>High Performance Liquid Chromatography</i>).	27
BAB 4	29
4.1 Perancangan Alat	29
4.2 Analisis Visualisasi	31
4.2.1 Variasi rasio mol dengan <i>jet velocity</i> sebesar 11 m/s pada t = 1s.....	38
4.2.2 Variasi rasio mol dengan <i>jet velocity</i> sebesar 11m/s pada t = 29s, 30s, dan 31s	41
4.2.3 Variasi <i>jet velocity</i> pada rasio mol 6:1 saat t = 1s.....	43
4.2.4 Variasi <i>jet velocity</i> pada rasio mol 6:1 saat t = 13s, 14s, dan 15s.....	45
4.3 Studi Reaksi	47
4.3.1 Produk Biodiesel Hasil Reaksi Katalitik	49
4.3.2 Produk Biodiesel Hasil Reaksi Nonkatalitik	50
4.3.3 Kandungan Air Produk Biodiesel	51
4.3.4 Bilangan Asam Produk Biodiesel	52
4.3.5 Konversi Trigliserida	53
4.3.6 <i>Yield</i> Biodiesel	54
4.4 Pengaruh Pencampuran terhadap Reaksi	56
BAB 5	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

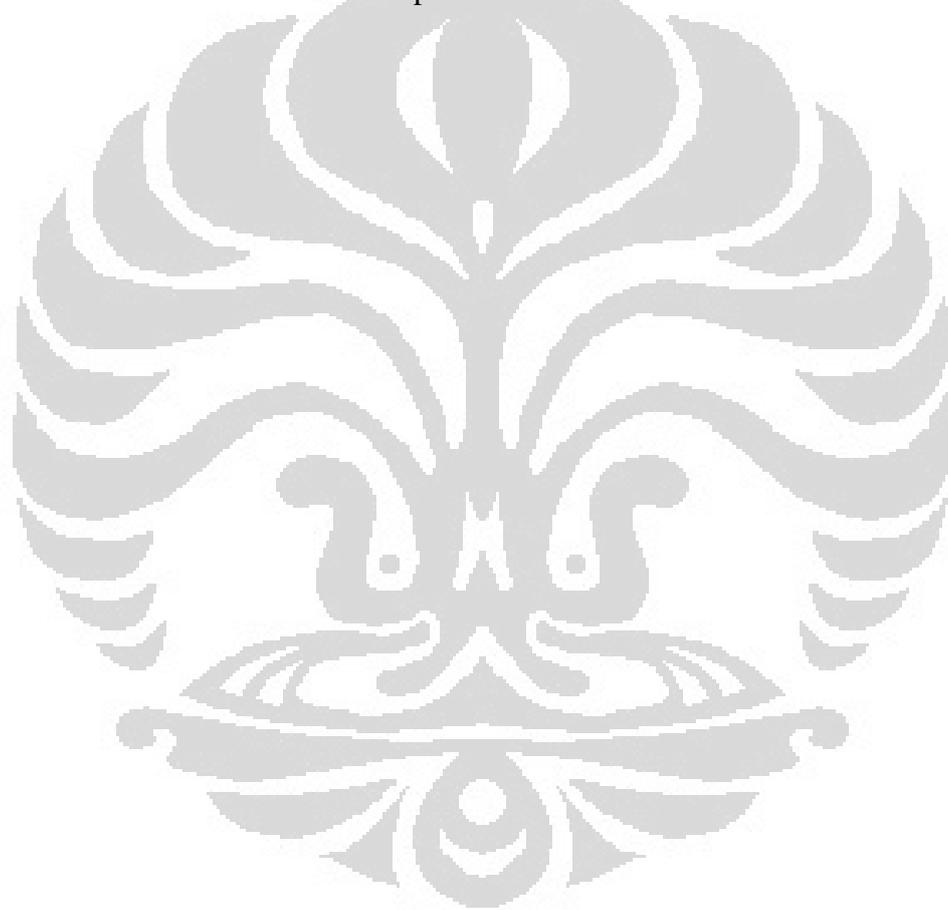
Tabel 2. 1 Atribut dari beberapa jenis G/L kontaktor	9
Tabel 3. 1 Parameter Rhodamine B	27
Tabel 4. 1 Sampel viskositas	32
Tabel 4. 2 Radius efektif dan korelasi waktu pada variasi viskositas	33
Tabel 4. 3 Bilangan Schmidt untuk variasi rasio mol pada fluida simulasi	33
Tabel 4. 4 Bilangan Schmidt untuk variasi rasio mol pada fluida metanol/CPO .	34
Tabel 4. 5 Viskositas pada fluida campuran metanol/CPO.....	35
Tabel 4. 6 Viskositas pada fluida campuran air/gliserol	35
Tabel 4. 7 Volume gliserol dan air	35
Tabel 4. 8 Nilai bilangan asam dari produk biodiesel.....	52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Efek penurunan kadar polusi penggunaan biodiesel	2
Gambar 2. 1 Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester.....	7
Gambar 2. 2 Reaksi transesterifikasi dari trigliserida menjadi ester metil asam-asam lemak	8
Gambar 2. 3 Pembentukan gelembung pada reaktor <i>jet bubble column</i> : (a-d) menunjukkan urutan dari fenomena yang terjadi	10
Gambar 2. 4 Daerah hidrodinamik di dalam daerah downcomer pada <i>jet column</i>	11
Gambar 2. 5 <i>Nozzle configurations</i> : a) <i>Circular</i> , b) <i>Elliptic low aspect ratio</i> , c) <i>Elliptic high aspect ratio</i> , d) <i>Square</i> , e) <i>Diamond-shaped</i>	12
Gambar 2. 6 Konfigurasi <i>nozzle</i>	12
Gambar 2. 7 Efek dari <i>jet velocity</i> dan jarak penetrasi pancaran variasi <i>nozzle type</i>	13
Gambar 2. 8 Visualisasi <i>vortex</i> dari <i>counter rotating vortex pair</i> (CVP) dan <i>wake vortices</i>	14
Gambar 2. 9 Efek dari <i>jet velocity</i> terhadap koefisien perpindahan massa dengan variasi diameter <i>nozzle</i>	16
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian analisis visualisasi kolom pancaran	19
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian studi reaksi biodiesel pada kolom pancaran	20
Gambar 3. 3 Skema alat	21
Gambar 3. 4 Skematis pengambilan sampel video untuk distribusi kecepatan pada kolom pancaran.....	26
Gambar 4. 1 Ilustrasi daerah <i>centerline</i>	30
Gambar 4. 2 Injeksi Rhodamine B ke rangkaian <i>jet column</i>	31
Gambar 4. 3 Grafik intensitas emisi dan absorpsi Rhodamine B	37
Gambar 4. 4 Sebaran konsentrasi (<i>grayscale</i>) pada rasio mol 4:1 kecepatan 11 m/s saat $t = 1s$	38
Gambar 4. 5 Kondisi pencampuran dengan <i>jet velocity</i> sebesar 11m/s pada rasio mol (a) 4:1 (b) 5:1 dan (c) 6:1 saat $t = 1s$	39
Gambar 4. 6 Intensitas emisi pada ketiga jenis rasio mol saat $t = 1s$ pada <i>jet velocity</i> sebesar 11m/s	40
Gambar 4. 7 Intensitas emisi fluida dengan rasio mol 4:1 pada $t = 13s, 14s, dan 15s$ saat $v = 11m/s$	41
Gambar 4. 8 Intensitas emisi fluida dengan rasio mol 5:1 pada $t = 13s, 14s, dan 15s$ saat $v = 11m/s$	42
Gambar 4. 9 Intensitas emisi fluida dengan rasio mol 6:1 pada $t = 13s, 14s, dan 15s$ saat $v = 11m/s$	42
Gambar 4. 11 Sebaran konsentrasi pada fluida dengan rasio mol 6:1 pada <i>jet velocity</i> (a) 5m/s, (b) 8m/s, dan (c) 11m/s saat $t = 1s$	44
Gambar 4. 12 Intensitas emisi pada rasio mol 6:1 saat $t = 1s$	45
Gambar 4. 13 Intensitas emisi saat $v = 5m/s$ pada rasio mol 6:1	46
Gambar 4. 14 Intensitas emisi saat $v = 8m/s$ pada rasio mol 6:1	46
Gambar 4. 15 Intensitas emisi saat $v = 11m/s$ pada rasio mol 6:1	47

Gambar 4. 16 Produk hasil reaksi katalitik selama 60 menit pada rasio mol 6:1.....	49
Gambar 4. 17 Hasil biodiesel reaksi nonkatalitik (a) rasio 4:1, (b) rasio 5:1, dan (c) rasio 6:1.....	50
Gambar 4. 18 Kadar air biodiesel untuk variasi rasio mol metanol:CPO.....	51
Gambar 4. 19 Konversi trigliserida pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik selama 60 menit	53
Gambar 4. 20 Konversi trigliserida pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik dengan rasio mol 6:1	54
Gambar 4. 21 <i>Yield</i> produk biodiesel pada reaksi nonkatalitik dengan rasio mol 6:1.....	55
Gambar 4. 22 Perbandingan <i>yield</i> produk biodiesel pada reaksi nonkatalitik dan katalitik di setiap variasi rasio mol saat $t = 60$ menit.....	55



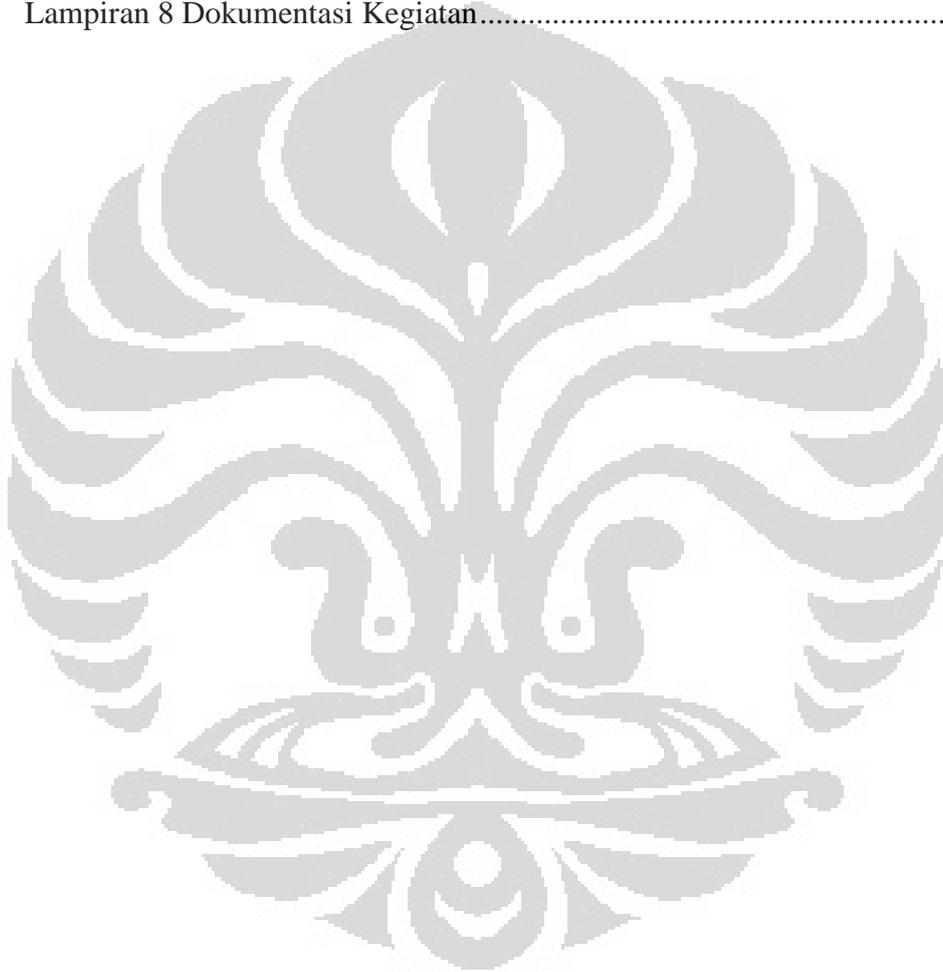
DAFTAR RUMUS

Rumus 3.1 % konversi trigliserida.....	28
Rumus 3.2 % <i>yield</i> biodiesel.....	29
Rumus 4.1 Persamaan Schmidt <i>number</i>	33
Rumus 4.2 Persamaan simpangan baku.....	41
Rumus 4.3 Persamaan Damkohler <i>number</i>	58
Rumus 4.4 Persamaan Arrhenius.....	60



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengukuran Kadar Air	64
Lampiran 2 Pengukuran Bilangan Asam.....	64
Lampiran 3 Perhitungan Konversi Trigliserida.....	65
Lampiran 4 Perhitungan <i>Yield</i> Biodiesel.....	65
Lampiran 5 Data HPLC.....	66
Lampiran 6 <i>Grayscale Level</i> pada Variasi Rasio Mol	74
Lampiran 7 Pola Aliran pada Variasi Rasio Mol selama 12 detik pertama	80
Lampiran 8 Dokumentasi Kegiatan.....	90



BAB 1

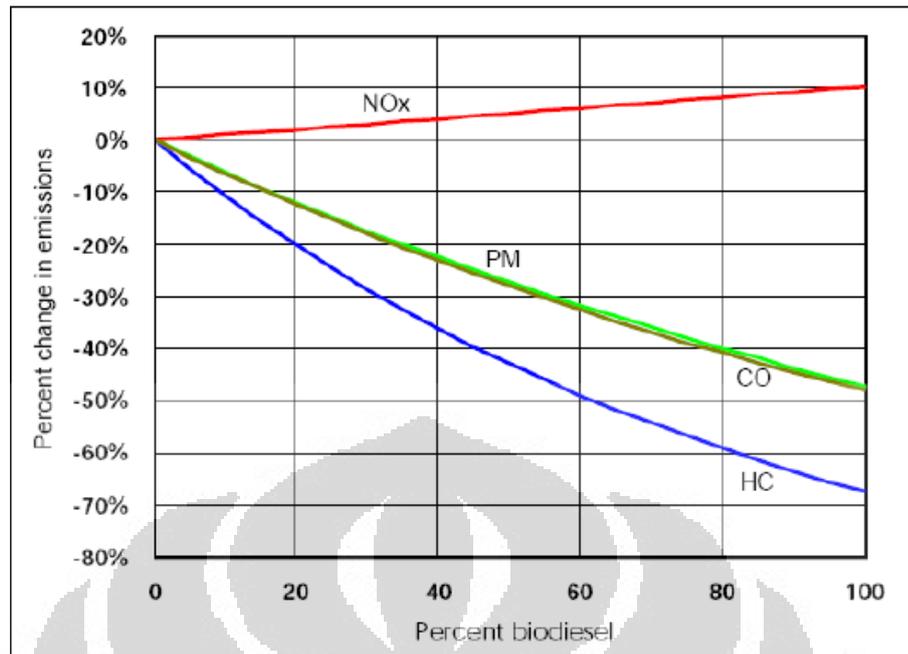
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi nasional, khususnya bahan bakar minyak (BBM) terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi nasional. Dengan semakin terbatasnya cadangan sumber daya minyak bumi, Indonesia harus mengimpor BBM dalam jumlah besar untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar minyak di sektor transportasi dan energi. Pada tahun 2005, Indonesia harus mengimpor lebih dari 13 juta kiloliter untuk memenuhi kebutuhan konsumsi diesel pada saat itu (Rahayu, 2008). Keadaan ini akan terus berlangsung bahkan memburuk jika terus dibiarkan.

Untuk mengatasinya, dilakukanlah pengembangan energi alternatif yang salah satunya adalah biodiesel. Biodiesel adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan terbarukan. Biodiesel terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak dan dapat dibuat dari minyak nabati, minyak hewani, atau bahkan dari minyak goreng bekas/daur ulang. Biodiesel menjadi alternatif yang tepat karena biodiesel memiliki sifat kimia dan fisika yang mendekati petroleum diesel (Baharta, 2005). Oleh karena itu, biodiesel dapat digunakan secara langsung oleh mesin diesel tanpa modifikasi yang signifikan.

Menggunakan biodiesel adalah salah satu tindakan untuk mengurangi kadar polusi di Indonesia. Biodiesel menghasilkan kadar polusi yang rendah, tidak mengandung sulfur, dan *biodegradable*. Penggunaan biodiesel dengan pencampuran antara 20% biodiesel dengan 80% petroleum diesel atau yang lebih dikenal dengan nama B-20 dapat mengurangi emisi CO sebesar 11% dan partikulat lainnya sebesar 10,1%. Sementara itu, penggunaan biodiesel 100% (B-100) dapat menurunkan emisi CO hingga 50% dan partikulat lainnya hingga 70% (McCormick et al, 2006). Gambar 1.1 menunjukkan grafik penurunan kadar polusi penggunaan biodiesel.



Gambar 1. 1 Efek penurunan kadar polusi penggunaan biodiesel

Sumber : (McCormick et al, 2006)

Biodiesel dibuat dengan menggunakan reaksi transesterifikasi. Metode transesterifikasi digunakan secara luas untuk mengurangi tingginya viskositas dan meningkatkan *fuel property* minyak nabati yang digunakan. Ada beberapa hal yang memengaruhi konversi serta perolehan biodiesel melalui transesterifikasi (Mathiyazhagan & Ganapathi, 2011), yaitu:

a. Pengaruh molar rasio alkohol.

Secara stoikiometri, jumlah alkohol yang dibutuhkan adalah 3 mol terhadap 1 mol trigliserida untuk memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, konversi yang diperoleh akan semakin bertambah dalam waktu yang singkat. Jadi, *yield* biodiesel akan meningkat saat konsentrasi alkohol yang digunakan juga meningkat. Tetapi, peningkatan jumlah konsentrasi alkohol lebih besar dari rasio mol 6:1 tidak akan meningkatkan *yield* biodiesel tetapi malah meningkatkan biaya *alcohol recovery* (Leung & Guo, 2006).

b. Pengaruh air dan asam lemak bebas (FFA atau *Free Fatty Acid*).

Minyak nabati yang digunakan harus bebas dari air ($<0,5\%$) dan memiliki angka asam yang kecil (<1). Jika jumlah angka asam lebih besar dari satu, reaksi membutuhkan katalis dalam jumlah yang lebih banyak. Sedangkan kandungan air yang dimiliki akan memberi efek negatif, yaitu air akan menyebabkan pembentukan *soap* dan *frothing* yang dapat meningkatkan viskositas.

c. Pengaruh waktu reaksi.

Reaksi berjalan lambat di awal disebabkan oleh lambatnya pencampuran dan dispersi alkohol terhadap minyak nabati. Konversi ester biasa didapat dalam waktu kurang dari 90 menit. Waktu yang lebih lama dari ini tidak dapat menyebabkan penurunan *yield* biodiesel karena reaksi bolak-balik yang terjadi.

d. Pengaruh suhu.

Semakin tinggi suhu reaksi, semakin cepat laju reaksi yang terjadi dan memperpendek waktu reaksi karena reduksi viskositas minyak nabati yang terjadi. Tetapi, meningkatkan suhu melebihi suhu optimal reaksi akan menyebabkan penurunan *yield* biodiesel disebabkan oleh tingginya suhu reaksi yang mempercepat proses saponifikasi trigliserida (Leung & Guo, 2006). Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada kisaran suhu 50°C hingga 60°C tergantung pada jenis minyak yang digunakan.

e. Konsentrasi katalis.

Katalis yang sangat umum digunakan adalah KOH dan NaOH. Penggunaan NaOH dinilai lebih efektif karena pencampuran NaOH dengan metanol menghasilkan jumlah air yang lebih sedikit, di mana air menghalangi pembentukan produk akhir disebabkan reaksi hidrolisis. Penambahan jumlah konsentrasi katalis meningkatkan konversi trigliserida. Penggunaan katalis NaOH melebihi 1,5% berat akan berdampak negatif terhadap *yield* biodiesel. Hal ini terjadi karena penggunaan katalis berlebih yang bereaksi dengan trigliserida akan menyebabkan terjadinya pembentukan *soap*.

Pemanfaatan minyak nabati secara langsung sebagai bahan baku biodiesel memiliki masalah. Masalah tersebut terutama disebabkan oleh viskositas minyak nabati yang terlalu tinggi jika dibandingkan dengan petroleum diesel. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingginya viskositas tersebut, diantaranya adalah *blending*, *pyrolysis*, *microemulsification*, dan *transesterification* (Mathiyazhagan & Ganapathi, 2011). Kekentalan minyak bahan baku yang tinggi menyebabkan sulitnya pertemuan antara molekul minyak dan alkohol sehingga reaksinya berjalan kurang sempurna (Supramono & Setiadi, 2011). Penelitian ini memberikan alternatif metode dengan memanfaatkan *high shear* (geseran antara partikel-partikel fluida karena gradien kecepatan) dalam campuran reaksi dengan menumbukkan jet fluida dari *nozzle* secara vertikal ke campuran reaksi dalam kolom. Dengan luas kontak yang tinggi, proses perpindahan massa ataupun kinetika akan sangat efisien dan terakselerasi dengan baik (Setiadi et al, 2008a).

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa reaksi katalitik pada rasio mol metanol:CPO sebesar 6:1 menghasilkan biodiesel dengan *yield* 85% dalam waktu 30 menit dan reaksi nonkatalitik pada rasio mol metanol:CPO sebesar 5:1, 4:1, dan 3:1 menghasilkan biodiesel dengan rentang *yield* 75% hingga 83% selama 30 menit (Karnanim, 2010). Penelitian yang diusulkan terdiri atas dua bagian. Bagian pertama, analisis visualisasi, menggunakan fluida simulasi (fluida yang memiliki viskositas sama dengan viskositas fluida reaksi) untuk menghindari reaksi saat pengamatan *mixing process*. Bagian kedua menggunakan fluida reaksi untuk dibandingkan dengan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Karnanim pada tahun 2010 untuk membuktikan bahwa semakin tingginya *shear stress* menghasilkan *yield* yang semakin besar pula.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kecepatan aliran pancaran fluida dan rasio mol antara metanol dan CPO pada kolom pancaran mempengaruhi peristiwa pencampuran?

2. Bagaimana kecepatan aliran pancaran fluida dan rasio mol antara metanol dan CPO pada kolom pancaran mempengaruhi konversi reaksi biodiesel?
3. Berapa % *yield* biodiesel yang dihasilkan dari penerapan kondisi optimum pada analisis visualisasi?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Memperoleh kondisi *mixing* yang optimum untuk reaksi pembuatan biodiesel yang berkorespondensi dengan sebaran konsentrasi dalam campuran reaksi pada *jet column*.
2. Memperoleh *yield* biodiesel reaksi nonkatalitik pembentukan biodiesel pada temperatur kamar lebih dari 70% dengan menggunakan *jet column*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Penelitian ini menjadi studi tentang kolom pancaran dapat mempengaruhi konversi reaksi biodiesel yang melibatkan bahan minyak nabati sebagai reaktan dalam pembuatan biodiesel yang umumnya mempunyai viskositas tinggi. Pada penelitian ini CPO mewakili sifat viskositas tinggi minyak nabati.
2. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap upaya intensifikasi reaksi pembuatan biodiesel. Diharapkan proses reaksi biodiesel dapat berjalan lebih optimal.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Fluida simulasi (campuran antara gliserol dan air) yang digunakan memiliki viskositas yang menyerupai fluida reaksi (metanol dan CPO).
2. Parameter yang divariasikan adalah rasio mol metanol terhadap CPO dan kecepatan jet dengan variasi kecepatan pancaran fluida sebesar 5m/s, 8m/s, dan 11m/s serta variasi rasio mol antara metanol dan CPO sebesar 4:1; 5:1; dan 6:1.

3. Variabel yang diukur pada analisis visualisasi adalah sebaran konsentrasi fluida simulasi dan *yield* biodiesel.
4. Uji reaksi riil hanya menggunakan beberapa data saja yang sebelumnya telah dilakukan pada analisis visualisasi.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan ini adalah.

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka memuat teori sebagai landasan berpikir dalam melakukan penelitian dan analisis. Teori yang dijelaskan mencakup biodiesel, *jet column reactor*, pemilihan *circular jet*, analisis visualisasi, studi reaksi pada biodiesel, dan penelitian yang berkaitan.

BAB 3 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 secara kualitas dan kuantitas. 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 ini berisi hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan prosedur yang direncanakan. Dalam bab ini juga terdapat analisis hasil penelitian yang telah diperoleh.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan mengacu pada hasil penelitian. Bab ini merupakan jawaban dari tujuan penelitian.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Biodiesel

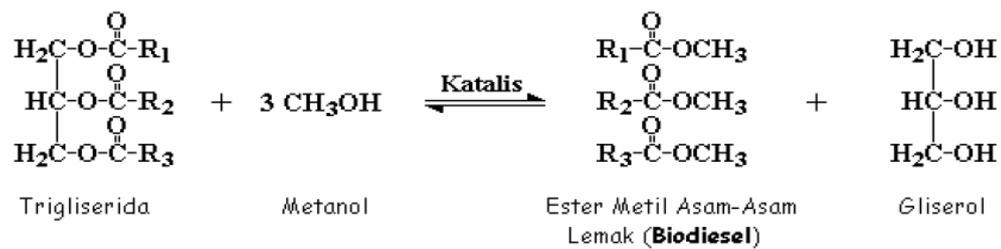
Biodiesel merupakan salah satu jenis biofuel (bahan bakar baik padatan, cairan, ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik) di samping bioetanol. Biodiesel memiliki rantai atom C antara 12 sampai dengan 20 serta mengandung oksigen. Adanya oksigen membedakannya dengan petroleum diesel yang komponen utamanya terdiri dari hidrokarbon, sedangkan biodiesel terdiri dari metil ester asam lemak nabati. Proses transesterifikasi yang umum untuk membuat biodiesel dari minyak nabati (biolipid) ada tiga macam, transesterifikasi dengan katalis basa, dengan katalis asam langsung, dan konversi minyak/lemak nabati menjadi asam lemak dilanjutkan menjadi biodiesel (Rahayu, 2008).

Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol (Destianna et al., 2007) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester

Reaksi transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek hingga menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters* = FAME) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping. Reaksi transesterifikasi diperlihatkan pada Gambar 2.2. Proses ini akan dapat berlangsung dengan menggunakan katalis alkali/basa pada tekanan atmosfer dan temperatur 600°C dengan menggunakan alkohol, katalis yang biasa digunakan adalah kalium hidroksida atau natrium hidroksida.



Gambar 2. 2 Reaksi transesterifikasi dari trigliserida menjadi ester metil asam-asam lemak

Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. 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).

2.2 Jet Column Reactor

Terdapat banyak jenis reaktor yang umum digunakan. Berikut adalah tiga faktor kunci yang penting untuk menjadi pertimbangan dalam pemilihan dan pembuatan reaktor (Lee & Tsui, 1999):

- mekanika fluida, dalam aspek geometri dan fisik, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu sistem yang mengatur distribusi dan aliran cairan, intensitas pencampuran, dan tingkat perpindahan massa dan panas.
- integritas peralatan, termasuk dampak korosi yang mungkin terjadi.
- kinetika, jika terjadi reaksi kimia, kita harus menentukan secara intrinsik laju reaksi yang dicapai.

Berdasarkan studi yang terakhir dilakukan (Lee & Tsui, 1999), penggunaan *jet reactor* memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- koefisien perpindahan massa yang tinggi dibandingkan dengan yang alat konvensional lainnya
- memungkinkan untuk penggunaan 100% gas murni

Berikut adalah ciri-ciri *jet column*:

1. digunakan sebagai jenis reaktor yang mampu memfasilitasi campuran liquid yang diinjeksi ke dalam kolom pada kecepatan tinggi;
2. peristiwa pencampuran yang terjadi disebabkan oleh *jet*;
3. *tube* di dalam kolom digunakan sebagai menghasilkan efek resirkulasi internal. Sebuah *loop* eksternal dapat diciptakan dengan resirkulasi liquid.

Tabel 2. 1 Atribut dari beberapa jenis G/L kontaktor

Table 2. Attributes of common G/L contactors.							
Contactor	$k_L a,^*$ 1/s	$a,^*$ m^2/m^3	ϵ_E	$V_G,^*$ m^3	$\epsilon_{V,}^*$ kW/m^3	Backmixing Liquid Flow	Backmixing Gas Flow
Bubble column excluding jet (loop)	0.005–0.01	~20	<0.2	0.002–300	0.01–1	CSTR–PFR	CSTR–PFR
Spray column	0.0007–0.015†	10–100†	>0.8	—	—	CSTR‡	CSTR‡
Packed column, countercurrent	0.005–0.02	~200	>0.95	0.005–300	0.01–0.2	PFR	PFR
Plate column	0.01–0.05	100–400†	>0.8	0.005–300	0.01–0.2	CSTR–PFR	CSTR–PFR
Pipe/tube	0.01–0.7**	50–2,000†	0.05–0.95	—	0.1–100**	PFR	PFR
Mechanically agitated tank	0.02–0.2	~200	<0.1	0.002–100	0.5–4	CSTR	Intermediate–PFR
Jet (loop)	0.01–2.2	200–2,000	<0.5	0.02–100	0.8–90	CSTR– intermediate	CSTR– intermediate
Tubular/venturi ejector and motionless mixer	0.1–3	1,000–7,000	~0.5††	<10	10–700	PFR	PFR

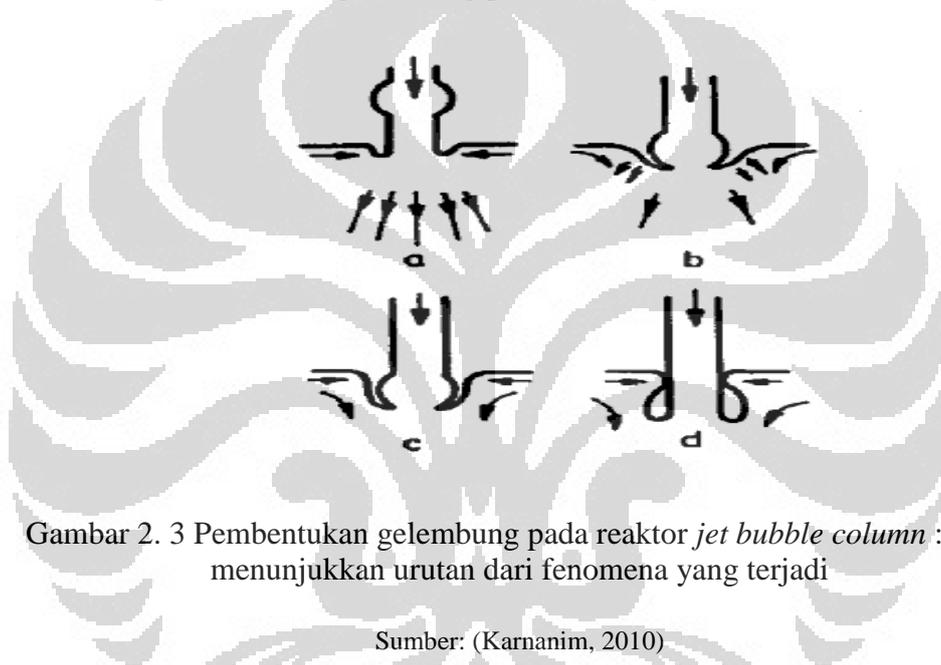
Modified from Ref. 13.
 * Typical for O_2 (air)/water (unless noted otherwise).
 ** For typical pipes/tubes of diameter on the order of an inch. For the monolith of diameter on the order of mm, $k_L a$ can be as high as 3 s⁻¹, and ϵ_V as high as 1,000 kW/m³.
 † Taken from Ref. 16, including values for G/L pairs other than O_2 /water.
 †† Calculated as the ratio of the gas-flow rate to the sum of the gas and liquid flow rates, which may not be a valid assumption.
 ‡ Because a spray column is considered to have only one or, at most, two equilibrium stages (16,23).

Sumber : (Lee and Tsui, 1999)

Jet reactor memberikan luasan kontak yang cukup tinggi (200~2000 m^2/m^3) dibandingkan dengan tipe lainnya. Pada Tabel 2.1, koefisien perpindahan massa *jet (loop)* juga mempunyai nilai yang cukup tinggi, yaitu sebesar 0,01-2,2. Jadi, dengan berbagai parameter tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *jet (loop)* sangat efektif dalam peristiwa perpindahan massa antarfluida yang dikontakkan.

Keuntungan lain dari *jet reactor* ini adalah konstruksi dan operasinya yang cukup sederhana serta modal awal dan biaya operasinya cukup rendah

(Supramono and Setiadi, 2011). Studi yang dilakukan sebelumnya (Nurhanjati, 2011) menyatakan bahwa penggunaan *jet bubble column* dalam studi reaksi pembuatan biodiesel melibatkan *entrainment* berbentuk sekumpulan gelembung. Awalnya, pada permukaan cairan terbentuk meniscus kecil yang disebabkan oleh tekanan dari lapisan batas gas dengan permukaan stagnan. Ketika gangguan menumbuk permukaan cairan, terjadi deformasi yang membelah gumpalan cairan sehingga yang mengarah pada terjadinya *gas entrainment* pada titik jatuh. Gambar 2.3 menunjukkan ilustrasi pembentukan gelembung pada reaktor *jet bubble column*.



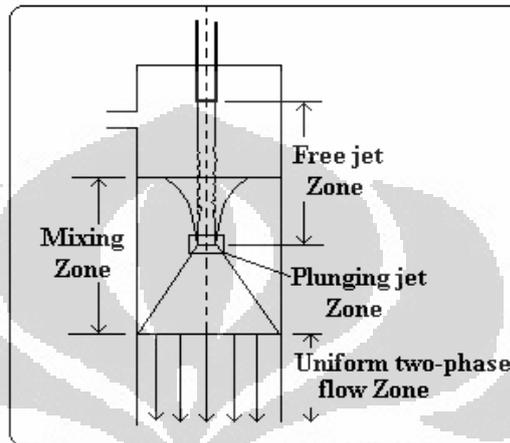
Gambar 2. 3 Pembentukan gelembung pada reaktor *jet bubble column* : (a-d) menunjukkan urutan dari fenomena yang terjadi

Sumber: (Karnanim, 2010)

Pembentukan gelembung yang berasal dari gas (udara) yang mengisi bagian kosong atas fluida pada *jet bubble column* membuat peristiwa perpindahan massa antar-reaktan menjadi sulit terjadi. Oleh karena itu, kontak yang diinginkan adalah kontak fasa liquid-liquid, bukan gas-liquid. Untuk menghindari terbentuknya gelembung yang dapat mengganggu pengamatan, *nozzle* dimasukkan ke dalam fluida stagnan agar tidak ada *gas entrainment* yang ikut masuk dan menghasilkan gelembung. Dapat dikatakan bahwa pada penelitian kali ini, reaktor yang digunakan adalah jenis *jet (loop)* dengan *nozzle* di bawah level fluida.

Prinsip kerja alat ini dalam penelitian yang diusulkan cukup sederhana, yaitu fluida yang ditembakkan oleh jet terhadap fluida stagnan

mengakibatkan terjadinya peristiwa tumbukan yang mengakibatkan pecahnya lapisan film cairan. Proses tumbukan ini juga menimbulkan arus pusaran (*eddy current*) yang terjadi didalam kolom dan berperan sebagai energi pencampuran (Setiadi et al, 2008b). Gambar 2.4 menunjukkan pembagian daerah pada *jet column* berdasarkan fenomena ini.



Gambar 2. 4 Daerah hidrodinamik di dalam daerah downcomer pada *jet column*

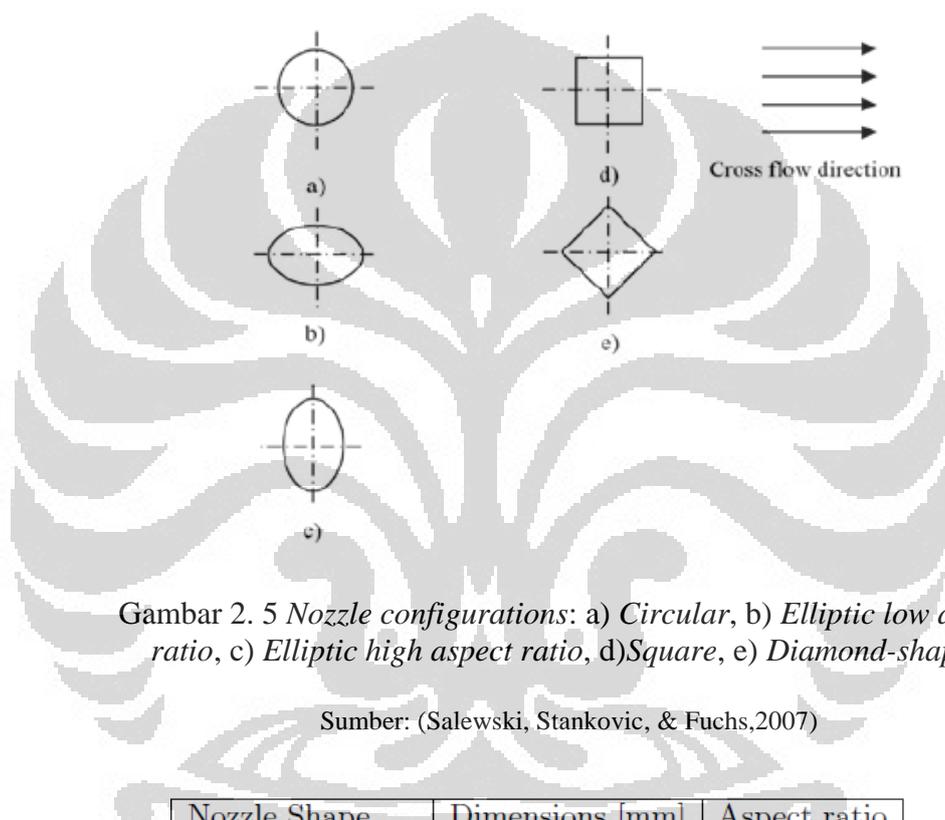
Sumber: (Evans, 1990)

Pada Gambar 2.4, terlihat adanya 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 zone*). Lubang cairan yang berbentuk seperti terompet terjadi di daerah pancaran bebas dan pada daerah pancaran jatuh. Pada kedua daerah ini akan terjadinya pusaran. Pusaran ini mengakibatkan pencampuran antarliquid sehingga tidak diperlukan lagi alat pengaduk. Pada daerah aliran dua fasa yang seragam, fasa gas akan terdispersi merata kedalam fasa cair (Evans 1990).

Keuntungan *jet column* lainnya selain studi tentang *jet* (loop) (Lee & Tsui, 1999) diantaranya adalah sederhana dalam perancangan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharannya, dan volume reaktor yang dibutuhkan kecil.

2.3 Pemilihan *Circular Jet*

Kondisi turbulen dan distribusi konsentrasi pada *jet column* ditentukan oleh bentuk *nozzle*. Secara umum, terdapat tiga tipe *nozzle* (*circular*, *ellipse*, dan *rectangle*), di mana perbedaan ketiganya adalah jarak *cross section nozzle* bagian *outlet*. Penetrasi *jet* pada *crossflow* akan semakin dalam jika lapisan batas antara *crossflow* dan *jet* tebal (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007).



Gambar 2. 5 *Nozzle configurations: a) Circular, b) Elliptic low aspect ratio, c) Elliptic high aspect ratio, d) Square, e) Diamond-shaped*

Sumber: (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007)

Nozzle Shape	Dimensions [mm]		Aspect ratio
	Length	Width	
Circular	5	5	1
Elliptic low AR	6.25	4	1.56
Elliptic high AR	4	6.25	0.64
Square	4.43	4.43	1
Diamond-shaped	6.26	6.26	1

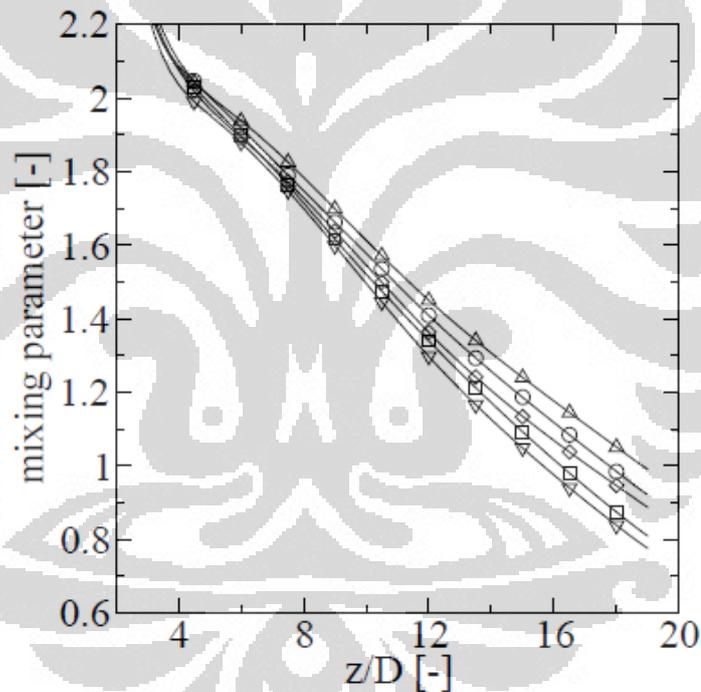
Gambar 2. 6 Konfigurasi *nozzle*

Sumber: (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007)

Gambar 2.5 menunjukkan tipe-tipe *nozzle*. Gambar 2.6 menunjukkan aspek rasio dari masing-masing jenis *nozzle*. Aspek rasio didefinisikan

sebagai rasio antara *spanwise* (W) terhadap *streamwise* (Q) ($AR = W/Q$). Semakin tinggi *Aspect Ratio* (AR), semakin rendah *jet penetration* (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007). *Jet* dari *circular nozzle* memiliki penetrasi rendah dibandingkan lainnya. *Circular nozzle* memiliki zona resirkulasi yang lebih baik dan memproduksi turbulensi yang lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan penurunan kedalaman penetrasi *jet*.

Gambar 2.7 menunjukkan efek dari bentuk *nozzle* terhadap kemampuan *mixing*. Semakin rendah parameter *mixing*, semakin homogen pencampuran yang terjadi. Jika parameter pencampuran mendekati nol, pencampuran terjadi dengan sempurna.



Gambar 2. 7 Parameter pencampuran untuk variasi jenis *nozzle*, o – circular, Δ – *elliptic low AR*, ▼ – *elliptic high AR*, □ – *square*, ◇ – *diamond*

Sumber: (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007)

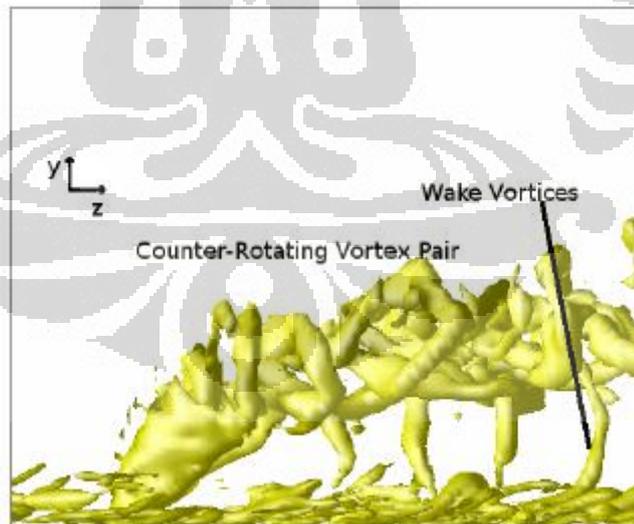
2.4 Analisis Visualisasi

Analisis visualisasi bertujuan untuk mengamati fenomena gerak fluida dan energi yang menggerakkannya. Penggunaan *jet* pada penelitian ini ditujukan untuk menciptakan peristiwa perpindahan atau pencampuran

antarmuka liquid dengan liquid dengan memanfaatkan tumbukan yang terjadi antara fluida yang dipancarkan dengan fluida stagnan.

Secara umum, ada beberapa faktor yang menjadi variabel dalam studi pengamatan pada *jet column* yang terkait dengan koefisien perpindahan massa, yaitu kecepatan jet, *nozzle diameter*, dan ketinggian fasa kontinu di atas nozzle. Koefisien perpindahan massa meningkat dengan peningkatan *nozzle diameter* dan kecepatan jet, sementara meningkatkan ketinggian fasa kontinu di atas nozzle menurunkan koefisien perpindahan massa (Nosratinia et al. 2010). Dalam studi ini, *nozzle diameter* dan ketinggian fasa kontinu di atas nozzle tidak divariasikan sehingga yang menjadi variabel bebas adalah kecepatan jet.

Fluida yang dipancarkan ke dalam fluida stagnan menyebabkan terjadinya tumbukan antara keduanya. Peristiwa tumbukan ini menghasilkan *eddy current* yang menjadi energi pencampuran. Lapisan pencampuran dibentuk antara *jet* dan *crossflow*. *Crossflow* yang dimaksud adalah aliran utama pancaran, di mana *jet* diinjeksi. Pada kedua sisi lapisan ini, terjadi pembentukan *unsteady shear layer vortices*. Keberadaan *vortices* ini menyebabkan *crossflow fluid* melanda/mengganggu *jet*.



Gambar 2. 8 Visualisasi *vortex* dari *counter rotating vortex pair* (CVP) dan *wake vortices*

Sumber: (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007)

Jet yang berasal dari *nozzle* terbagi menjadi dua bagian, bagian yang berubah menjadi *counter rotating vortex pair* (CVP) adalah bagian paling dominan yang terbentuk. Seperti pada Gambar 2.8, CVP yang berbentuk seperti gelombang pada aliran turbulen disebabkan oleh menegangnya lapisan batas *vorticity*. Di sisi lain, *wake vortices* terbentuk diantara CVP dan lapisan batas. Jenis ini berputar dengan arah yang berbeda dari CVP akibat dari kondisi turbulen. CVP yang bergelombang di dalam aliran turbulen berinteraksi dengan *wake vortices* yang lalu berinteraksi dengan lapisan batas dekat dinding kolom. Struktur ini berperan penting dalam tingginya peristiwa pencampuran dan perpindahan massa (Salewski, Stankovic, & Fuchs, 2007).

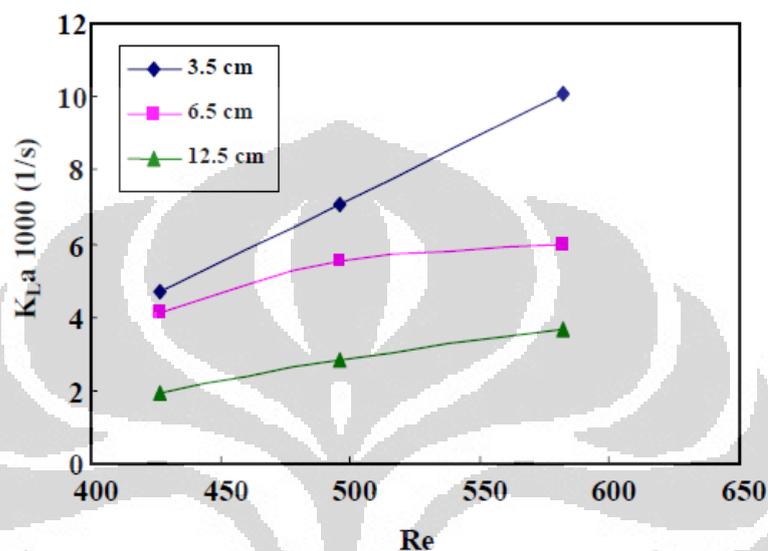
2.5 Studi Reaksi Biodiesel pada *Jet Column*

Perpindahan massa yang terjadi pada reaksi biodiesel dengan menggunakan *jet bubble column* merupakan akibat dari adanya gradien konsentrasi pada film cairan dipengaruhi oleh sifat fisis bahan, pola aliran, dan resim pola aliran (Setiadi et al, 2008). Pada penelitian sebelumnya, perpindahan massa yang terjadi dalam reaksi antara CPO dan metanol adalah fungsi dari ukuran gelembung (*bubble size*). Semakin kecil ukuran gelembung maka laju perpindahan massa semakin tinggi (Supramono and Setiadi 2011). Pemecahan *bubble size* ini dilakukan oleh *shear (velocity gradient)*, di mana *velocity gradient* ditimbulkan oleh jet (Evans 1990). Pada studi reaksi di penelitian ini, fasa yang dikontakkan adalah fasa liquid-liquid. Oleh karena itu, *nozzle* diletakkan di dalam fluida stagnan sehingga tidak ada gas yang terseret masuk.

Shears yang tercipta karena tumbukan yang terjadi memiliki hubungan yang erat dengan koefisien perpindahan massa. Hal itu disebabkan oleh hubungan antara kecepatan fluida yang dipancarkan ke dalam cairan stagnan dapat membentuk gradien kecepatan di dekat permukaan dan menyebabkan terjadinya peningkatan *shears stress* (Supramono & Setiadi, 2011).

Koefisien perpindahan massa menyatakan besarnya perpindahan massa yang terjadi. Semakin tinggi koefisien perpindahan massa, akan semakin tinggi pula perpindahan massa yang terjadi. Penelitian terkait koefisien

perpindahan massa yang terjadi pada *jet reactor* (Nosratinia et al., 2010) menunjukkan ketergantungan koefisien perpindahan massa K_{La} terhadap *jet velocity*, U (atau bilangan Reynolds), di mana K_{La} semakin naik seiring dengan kenaikan *jet velocity*. Perilaku ini muncul sebagai konsekuensi dari kenaikan laju pencampuran dan turbulensi pada sistem.



Gambar 2. 9 Efek dari *jet velocity* terhadap koefisien perpindahan massa dengan variasi diameter *nozzle*

Sumber: (Nosratinia et al. 2010)

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa *jet velocity* memengaruhi kenaikan koefisien perpindahan massa pada berbagai variasi diameter *nozzle*. Penurunan *jet velocity* (Reynolds number) turun, skala turbulensi pada aliran akan mengalami penurunan. Ketika turbulensi menurun, gaya viskos pada fluida lebih mendominasi *turbulent eddy* sehingga mengakibatkan tingkat difusivitas dari pusaran menurun dan menghasilkan pencampuran yang rendah. Pencampuran yang homogen dalam kolom sangat dibutuhkan untuk mencapai kondisi reaksi yang optimal.

Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa semakin besar *shear* yang terjadi (*high shears*), akan semakin tinggi pula kinetika yang terjadi (*high kinetic*) dan pencampuran yang terjadi (*high mixing*).

2.6 Penelitian Yang Berkaitan

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa reaksi katalitik pada rasio mol metanol:CPO sebesar 6:1 menghasilkan biodiesel dengan *yield* 85% dalam waktu 30 menit dan reaksi nonkatalitik pada rasio mol metanol:CPO sebesar 5:1, 4:1, dan 3:1 menghasilkan biodiesel dengan rentang *yield* 75% hingga 83% selama 30 menit. Masih perlu pengembangan lebih lanjut pada reaktor *jet bubble column* untuk peningkatan efisiensi produksi biodiesel sehingga *yield* yang diperoleh pada reaksi nonkatalitik pada temperatur kamar lebih besar dari 70% (Karnanim, 2010).

Beberapa faktor yang memengaruhi koefisien perpindahan massa pada kontak liquid-liquid dengan menggunakan *jet reactor* adalah kecepatan jet, *nozzle diameter*, dan ketinggian fasa kontinyu di atas nozzle (Nosratinia et al., 2010). Berdasarkan hasil eksperimen, koefisien perpindahan massa meningkat dengan peningkatan *nozzle diameter* dan kecepatan jet.

Shears yang dihasilkan dengan menggunakan *jet column reactor* semakin tinggi seiring dengan kenaikan kecepatan jet. Rasio mol yang semakin tinggi (viskositas rendah) turut memengaruhi kenaikan *shears* dan mempercepat pencampuran yang terjadi (Nurhanjati, 2011).

Penelitian Mathiyazhagan & Ganapathi pada tahun 2011 mengenai faktor-faktor yang memengaruhi reaksi transesterifikasi pada minyak nabati turut menambah daftar referensi pada penelitian ini. Reaksi yang berjalan pada suhu tinggi (50°C-60°C) akan mencapai konversi yang lebih optimal daripada konversi yang dicapai pada suhu yang lebih rendah. Penggunaan *jet column* tentunya akan jauh mempercepat waktu yang dibutuhkan tersebut. Berbagai hasil dari variasi komposisi rasio mol antara metanol dan CPO menjadi perbandingan dengan hasil yang akan didapat pada uji reaksi biodiesel pada *jet column*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

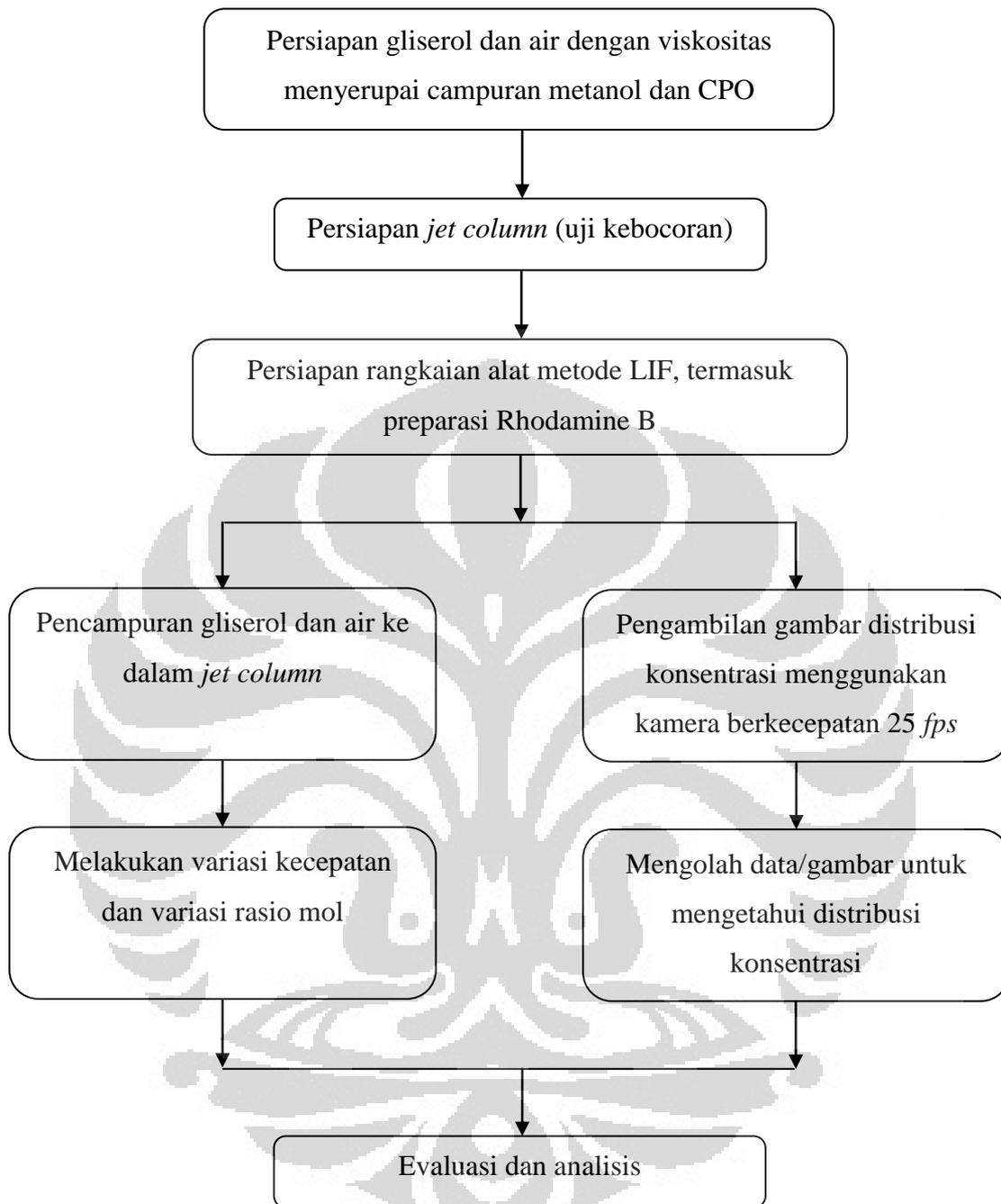
Penelitian yang akan dilakukan terdiri atas dua tahap, yaitu studi analisis visualisasi dan studi reaksi biodiesel, di mana keduanya menggunakan *jet column*. Pada studi ini tidak diinginkan terdapat gelembung yang muncul. Oleh karena itu, *nozzle* pada *jet column reactor* diletakkan di dalam fluida stagnan. Variabel bebas penelitian ini adalah variasi rasio mol metanol/CPO sebesar 4:1, 5:1, dan 6:1, di mana variasi kecepatan jet pada rasio mol 4:1 dan 5:1 adalah 11m/s. Sedangkan pada rasio mol 6:1, variasi kecepatan jet adalah 5m/s, 8m/s, dan 11m/s.

Analisis visualisasi dilakukan dengan menggunakan fluida simulasi yang viskositasnya mendekati fluida sebenarnya (CPO dan metanol). Pengamatan aliran fluida dilakukan dengan menggunakan metode LIF (*Laser Induced Fluorescence*). Pewarna yang digunakan dalam metode ini adalah Rhodamine B sebanyak 0,1% dari total volume rangkaian *jet column*, 6L. Data yang didapat dari hasil pengamatan dengan metode LIF akan dianalisis untuk mendapatkan data distribusi konsentrasi di dalam *jet column*.

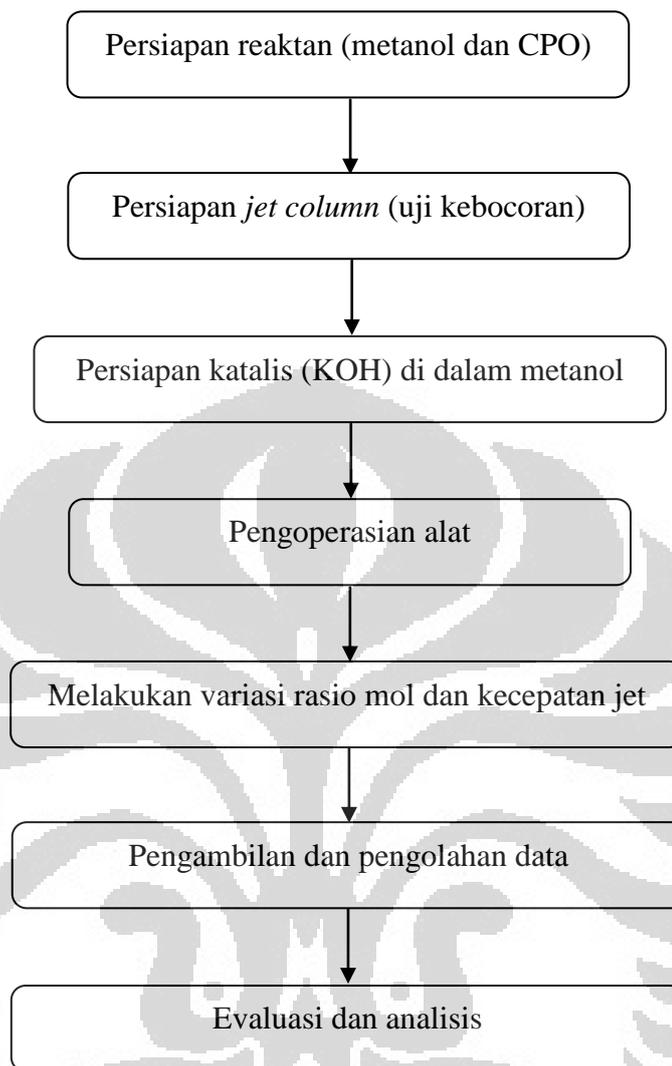
Studi reaksi biodiesel dilakukan dengan menggunakan kondisi optimum yang didapatkan pada analisis visualisasi. Reaksi pembuatan biodiesel menggunakan katalis KOH dengan berat 1% wt metanol. Suhu reaksi berkisar antara 50°C-60°C.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang akan dilakukan di Laboratorium DTK, Universitas Indonesia, Depok akan dijelaskan pada Gambar 3.1 dan 3.2. Gambar 3.1 adalah diagram alir analisis visualisasi dan Gambar 3.2 adalah diagram alir studi reaksi pembuatan biodiesel.



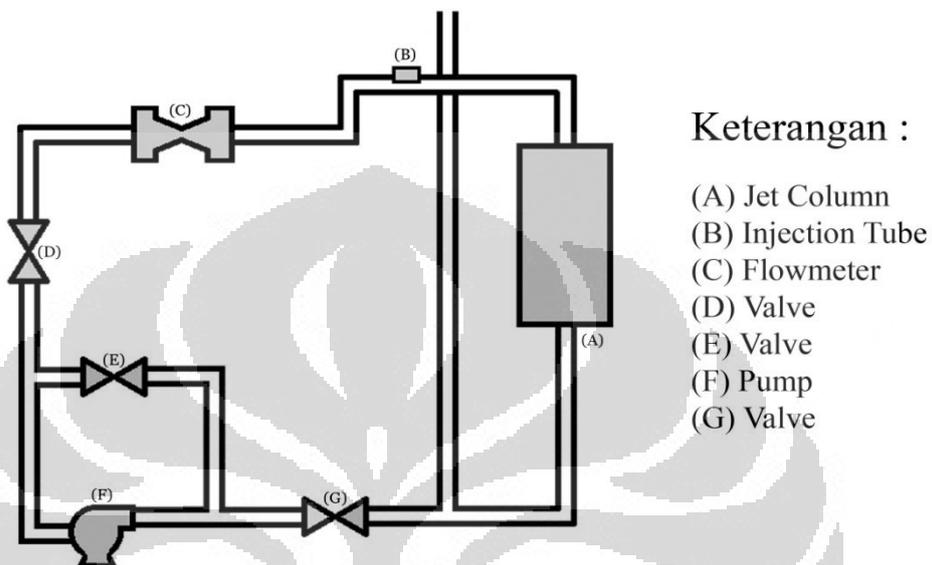
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian analisis visualisasi kolom pancaran



Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian studi reaksi biodiesel pada kolom pancaran

3.3 Skema Alat

Untuk melaksanakan penelitian ini, diperlukan alat dan instrumen yang disusun menurut skema pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Skema alat

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat

1. *Jet column*

Merupakan peralatan utama dalam percobaan ini. Kolom ini berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi sintesis biodiesel.

2. *Circular nozzle*

Berfungsi untuk mengalirkan fluida dengan kecepatan *jet* (pancaran).

3. Pompa

Berfungsi untuk mengalirkan dan menyirkulasikan fluida di dalam rangkaian *jet column*.

4. *Valve*

Perpipaan dan sambungan perpipaan.

5. *Microtubes*

6. *High speed camera* (600, 800, dan 1200 frames/sec tergantung dengan kecepatan jet)

7. Laser generator 500 mV power, tipe DSPS 532nm
8. HPLC untuk pengukuran *yield* reaksi biodiesel
9. Timbangan elektrik
10. Penggaris panjang untuk kalibasi dalam pengukuran distribusi kecepatan.
11. Lensa *plano cylindrical concave* dengan *focal length* 25mm untuk membuat *light sheet* dari sumber laser dan lensa *plano cylindrical convex* untuk memfokuskan *light sheet* sehingga ketebalan *sheet* 2mm tercapai.
12. *Goggles* untuk melindungi mata dari sinar laser dengan panjang gelombang 532nm.
13. *Filter* untuk cahaya dengan panjang gelombang 560nm.
Digunakan untuk memfiltrasi cahaya dengan panjang gelombang berintensitas tinggi dan absorpsi rendah sehingga efek absorpsi terhadap emisi bisa tereliminasi.

3.4.2 Perangkat Lunak

1. Virtualdub untuk memecah file video dengan ekstensi .AVI menjadi *file image* dengan ekstensi .BMP.
2. Adobe Photoshop CS3 untuk mengukur intensitas *grayscale* pada titik-titik tertentu dalam sebuah *file image*.

3.4.3 Bahan

1. Gliserol + Air
2. Metanol
3. KOH
4. CPO
5. Rhodamine B

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Awal

Tahap ini meliputi persiapan peralatan (contoh: *jet column*, *laser holder*, *filter holder*, dsb) dan bahan (contoh: metanol, gliserol, CPO, dan Rhodamine B) yang digunakan dalam penelitian ini.

3.5.2 Persiapan Uji Operasi

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:

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

3.5.3 Pengoperasian Rangkaian Alat

Pengoperasian rangkaian alat bertujuan untuk analisis pengamatan visualisasi dan konversi reaksi pembuatan biodiesel. Berikut prosedur pengoperasian rangkaian alat:

3.5.3.1 Pengoperasian Rangkaian Alat Analisis Visualisasi

Pengoperasian rangkaian alat bertujuan untuk analisis visualisasi pada reaksi pembuatan biodiesel. Prosedurnya sebagai berikut:

- Membersihkan kolom pancaran menggunakan air dengan membuka aliran pada bagian bawah kolom.
- Mengisi kolom pancaran dengan campuran gliserol dan air yang memiliki viskositas sama dengan CPO.
- Mengoperasikan kolom pancaran dengan menyalakan stop kontak otomatis untuk memompa campuran bahan agar keluar dari kolom pancaran dan bersikulasi dalam proses pencampuran.
- Mengoperasikan peralatan dalam selang waktu tertentu (± 2 menit).
- Melakukan pengambilan data pengamatan proses *mixing*.
- Data yang diambil adalah kecepatan dari aliran fluida dengan metode LIF. Tujuannya agar didapatkan kondisi operasi optimum reaksi biodiesel dalam kolom pancaran.

- Melakukan pengambilan data untuk setiap variasi rasio mol (6:1, 5:1, 4:1) dan setiap variasi jet velocity (5m/s, 8m/s, dan 11m/s).
- Mencatat kondisi operasi optimum untuk proses dengan *high kinetic* tertinggi

3.5.3.2 Pengoperasian Rangkaian Alat Studi Reaksi Biodiesel

- Membersihkan kolom pancaran menggunakan air dengan membuka aliran pada bagian bawah kolom.
- Mengisi kolom pancaran dengan campuran CPO dan metanol.
- Mengoperasikan kolom pancaran dengan menyalakan stop kontak otomatis untuk memompa campuran bahan agar keluar dari kolom pancaran dan tersirkulasi selama proses pencampuran.
- Melakukan pengambilan data untuk setiap variasi rasio mol metanol-minyak (6:1, 5:1, 4:1) dan setiap variasi jet velocity (5m/s, 8m/s, dan 11m/s).

3.5.4 Teknik Pengambilan Sampel

3.5.4.1 Teknik Pengambilan Sampel Analisis Visualisasi

Data yang diambil berupa hasil video pancaran emisi Rhodamine B yang mewakili sebaran konsentrasi selama jangka waktu tertentu dari proses pencampuran gliserol dan air. Proses pengambilan data sebagai berikut:

- Memasang *laser point* yang direfleksikan ke lensa plano konkaf dan plano konveks di sisi sebelah kanan kolom pancaran
- Melakukan pengujian *laser sheet* yang dipancarkan ke arah kolom pancaran untuk mendapatkan posisi yang cocok dengan sumber laser berdaya rendah (100 mW).
- Merekam dalam bentuk video selama jangka waktu tertentu pada kolom dengan kamera pada ruang gelap dengan sumber laser kontinyu berdaya sedang (500 mW).

3.5.4.2 Teknik Pengambilan Sampel Studi Reaksi Biodiesel

Studi reaksi dilakukan untuk mendapatkan % yield biodiesel dari sampel atau produk akhir yang dihasilkan dengan menerapkan

kondisi optimum operasi yang didapatkan saat penelitian analisis visualisasi. Pengambilan sampel dilakukan dengan mereaksikan CPO dan metanol dalam kolom pancaran untuk kemudian analisis terhadap hasil pencampuran yang ada.

- Produk akhir dikumpulkan dalam suatu wadah.
- Mendinginkan larutan selama beberapa jam untuk memisahkan gliserol dengan cara menuangkannya/menggunakan corong pisah.
- Melakukan pencucian biodiesel dengan menggunakan air aquadest.
- Melarutkan 1% wt Na_2SO_4 anhidrat untuk mengurangi kadar air akibat pencucian.

3.6 Pengolahan dan Analisis Data

Sampel yang diperoleh dari hasil percobaan akan mengalami analisis kualitatif dan kuantitatif.

3.6.1 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif pada analisis visualisasi adalah mengamati pergerakan distribusi konsentrasi yang mewakili bentuk pencampuran yang terjadi pada fluida dinamis dan stagnan di dalam kolom. Pengamatan tersebut bertujuan untuk memastikan terjadi aliran turbulen di dalam fluida sebagai indikator pencampuran. Sedangkan analisis secara kualitatif untuk studi reaksi dilakukan dengan cara melihat larutan produk akhir hasil pembuatan biodiesel dari reaktor *jet column*. Analisis dilakukan dengan memperhatikan terbentuk/tidaknya dua lapisan yang berbeda warna karena perbedaan densitas pada produk akhir. Kedua lapisan tersebut adalah metil ester (biodiesel) di lapisan atas dan gliserol di lapisan bagian bawah.

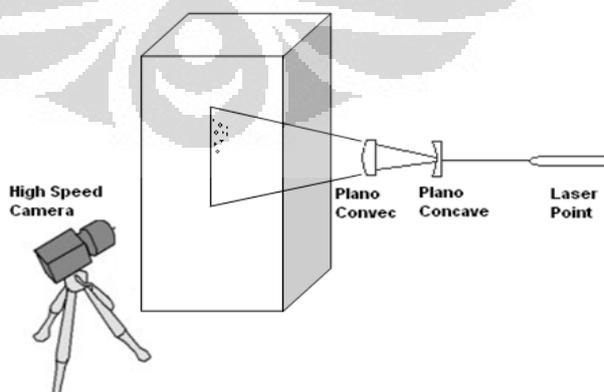
3.6.2 Analisis Kuantitatif

Pengukuran distribusi konsentrasi dilakukan dengan mengambil video proses pencampuran. Ukuran dalam bentuk panjang didapat dengan mengkonversi satuan pixel yang diperoleh dari kamera. Untuk mempermudah pengukuran, mistar atau penggaris panjang diletakan disamping daerah yang akan diamati untuk mengetahui konversi panjang dalam pixel ke dalam panjang dalam mm.

3.6.2.1. Metode LIF (*Laser Induced Fluorescence*) untuk Analisis Visualisasi

PLIF adalah sebuah teknik pengukuran untuk mengukur sebaran konsentrasi atau temperatur pada aliran fluida. Beberapa peralatan yang digunakan dalam teknik pengukuran ini, yaitu laser yang membentuk lembar, pewarna *fluorescence*, dan *high speed camera*. Laser ditembakkan ke bagian tengah dari kolom. Bagian tersebut yang menjadi bagian dari analisis visualisasi. Grafik sebaran konsentrasi yang dihasilkan dari metode LIF menggunakan bagian paling kiri kolom sebagai titik koordinat awal (0;0). Hal ini dilakukan karena bagian tengah kolom dianggap mewakili sebaran konsentrasi yang terjadi di seluruh bagian kolom. Pada daerah ini, terjadi geseran fluida yang optimal (turbulensi) di bagian *center line* sepanjang *jet length* sehingga dianggap dapat menjadi parameter pencampuran.

Kamera menangkap pendaran warna dari pewarna *fluorescence* untuk kemudian diolah untuk mendapatkan peta sebaran konsentrasi. Pusaran turbulensi teridentifikasi dengan jelas pada peta tersebut. Data statistik analitik seperti nilai konsentrasi dan koordinat sebaran konsentrasi menjadi data yang dapat menunjukkan proses pencampuran. Gambar 3.4 menunjukkan skematis pengambilan sampel video.



Gambar 3. 4 Skematis pengambilan sampel video untuk distribusi kecepatan pada kolom pancaran

Fluorescence adalah sebuah proses terpancarnya sinar dari suatu senyawa setelah menyerap sinar atau radiasi elektromagnet lain. Umumnya, sinar yang dipancarkan memiliki gelombang lebih panjang dan energi yang lebih rendah daripada radiasi yang diserap, ditunjukkan pada Tabel 3.1. Senyawa yang digunakan pada penelitian ini adalah Rhodamine B.

Rhodamine B memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- a. Memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam air
- b. Memiliki efisiensi kuantum yang tinggi sehingga sinyal *fluorescence* yang dihasilkan juga tinggi
- c. Efek *photobleaching* lemah
- d. Laser dengan panjang gelombang antara 514-532 nm dapat mengeksitasinya secara optimal mendekati panjang gelombang Rhodamin B itu sendiri
- e. Sensitif terhadap temperatur sehingga dapat dilibatkan juga dalam pengukuran suhu

Tabel 3. 1 Parameter Rhodamine B

Rhodamine B	Nilai terendah	Nilai tertinggi	Nilai optimal
Panjang gelombang absorpsi (nm)	460	590	526
Panjang gelombang emisi (nm)	560	670	580
Sensitivitas pH	< 6		
Sensitivitas suhu	-2 sampai -5% /°C		

Sumber: (Dantec Dynamics 2002)

3.6.2.2. Analisis % Yield Biodiesel dengan Uji HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*).

Sampel dianalisis dengan menggunakan 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.

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

Sampel dianalisis dengan HPLC, menggunakan fasa bergerak yaitu metanol dan isopropanol heksana (5:4). Temperatur operasi pada temperatur ambient dan detektor yang digunakan adalah detektor UV dengan panjang gelombang 205 nm. Perhitungan yield biodiesel menggunakan persamaan berikut (Joshi, 2009):

$$\% \text{ konversi trigliserida} = \frac{A_{TG,t=0} - A_{TG,t=t}}{A_{TG,t=0}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\% \text{ yield biodiesel} = \frac{A_B}{A_B + A_{TG} + A_{DG} + A_{MG}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

T = trigliserida

D = digliserida

M = monogliserida

B = biodiesel

t = waktu

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

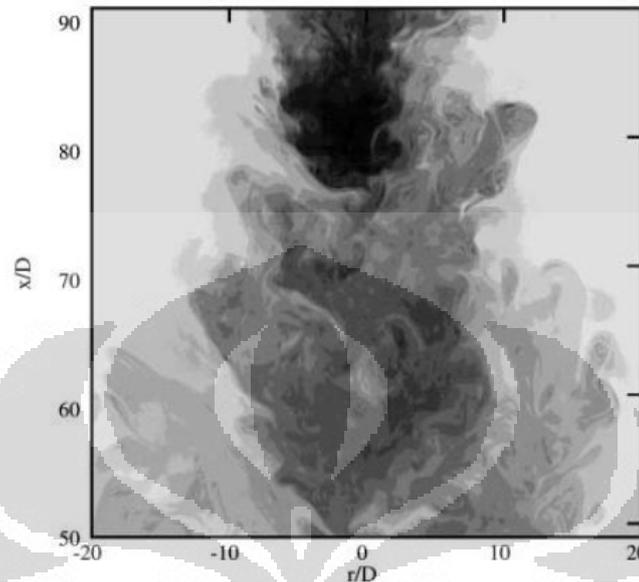
4.1 Perancangan Alat

Untuk melakukan analisis visualisasi pada penelitian ini, pertama-pertama dirancang sebuah alat kolom pancaran (*jet column*) yang dapat memenuhi kebutuhan metode PLIF dan variasi variabel penelitian. Perancangan alat ini termasuk komponen-komponen yang dibutuhkan dalam metode penelitian PLIF seperti pemilihan laser dan *tracer*.

A. *Jet Column*

Kolom pancaran yang digunakan terbuat dari kaca bening dan berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran panjang sebesar 10cm, lebar 10cm, dan tinggi sebesar 40cm. Penggunaan material kaca bening bertujuan untuk memudahkan cahaya laser menembus lapisan tebal dinding kolom dan dapat mengeksitasi Rhodamine B tanpa harus berkurang intensitas cahaya yang dimilikinya. Bentuk empat persegi panjang yang digunakan didasari oleh pertimbangan kemudahan perawatan dan penanganannya, serta agar cahaya laser yang masuk tidak terefleksi oleh dinding dan dapat membuat *sheet* yang lurus dan memiliki tebal yang diinginkan. Rangkaian alat ini memiliki kapasitas yang cukup besar, volume sebesar 6L, dengan tujuan agar terjadi peristiwa pencampuran yang optimal dengan melibatkan momentum antarmolekul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Dengan lebar yang cukup besar, daerah *center line* tidak dipengaruhi oleh momentum balik antara molekul dengan dinding kolom. Hal ini dilakukan agar peristiwa pencampuran yang terjadi diharapkan didominasi hanya oleh gerakan molekul fluida dan mengandalkan efek kecepatan pancaran dan rasio mol reaktan. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan penelitian, sangat perlu mempertimbangkan faktor ukuran kolom, ukuran *circular jet*, dan kekuatan pompa. Dalam rangkaian *jet column* ini, diameter dalam *circular jet* yang digunakan adalah sebesar 6mm. Sebagai tambahan, untuk menghindari refleksi dari cahaya laser yang telah menembus kolom,

digunakan kain hitam yang bertujuan untuk menyerap cahaya laser tersebut.



Gambar 4. 1 Ilustrasi daerah *centerline*

Sumber: (Webster, Roberts, & Ra'ad 2001)

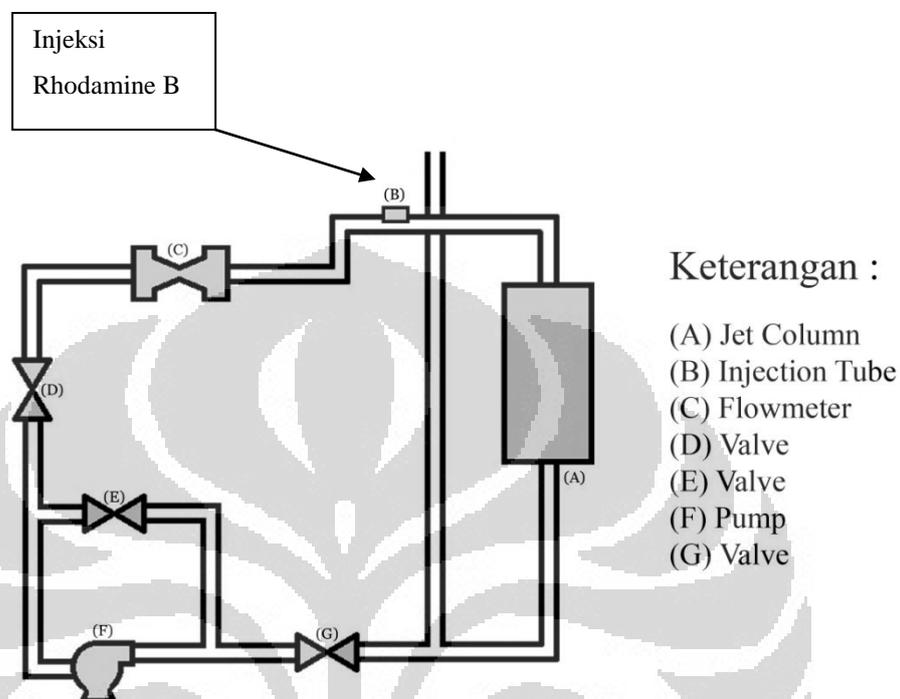
B. Laser

Penelitian ini menggunakan laser hijau dengan panjang gelombang 532nm dan memiliki daya sebesar 100mW. Selain itu, untuk menciptakan *light sheet* dengan tebal 2mm, digunakan alat tambahan berupa lensa datar cekung (*plano concave*) dengan panjang fokus sebesar 25mm. Bagian atas *light sheet* berada pada bagian tengah dari kolom, yaitu 12 cm dari bagian atas kolom. Fokus laser adalah bagian tengah dari tinggi kolom.

C. The Dye (Rhodamine B)

Untuk menganalisis sebaran konsentrasi yang menggunakan metode PLIF dalam penelitian ini, digunakan *tracer* berupa cahaya yang berasal dari eksitasi elektron pada Rhodamine B yang menjadi indikator fluida dinamis. Massa jenis Rhodamine B yang digunakan adalah sebesar 20 $\mu\text{g/liter}$ dengan volume 0,1% dari total volume fluida kolom, yaitu 6 ml (Collignon, M. L et al 2010). Pewarna ini diinjeksi lewat lubang kecil pada pipa jet ke dalam fluida dinamis yang akan mengalir menuju fluida

stagnan di dalam kolom. Injeksi dilakukan tepat saat rangkaian alat dioperasikan sehingga pewarna benar-benar mewakili fluida dinamis. Ilustrasi injeksi Rhodamine B ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Injeksi Rhodamine B ke rangkaian *jet column*

4.2 Analisis Visualisasi

Analisis visualisasi dilakukan untuk mengetahui tingkah laku dan pola aliran fluida yang terjadi pada *jet column* saat proses pencampuran. Analisis visualisasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi proses pencampuran optimal sehingga menciptakan campuran homogen yang dapat meningkatkan proses perpindahan massa.

Dalam studi ini, fluida yang digunakan adalah fluida simulasi yang tidak akan bereaksi namun memiliki karakter yang sama dengan reaktan sesungguhnya. Hal ini berkaitan dengan tingkat difusivitas dari Rhodamine B yang digunakan sebagai pewarna yang menjadi indikator pencampuran. Fluida simulasi ini dikatakan memiliki karakter aliran yang sesuai ketika memiliki besar bilangan Schmidt yang sama. Bilangan Schmidt ditentukan lewat persamaan:

$$Sc = \frac{v}{D} = \frac{\mu}{\rho D} \quad (4.1)$$

di mana: Sc = Schimdt *number*
 v = *kinematics viscosity* (cm²/s)
 D = *mass diffusivity* (cm²/s)
 μ = *dynamics viscosity* (g/cm.s)
 ρ = massa jenis (g/cm³)

Bilangan Schmidt adalah rasio dari momentum dan perpindahan massa dalam kecepatan dan lapisan batas konsentrasi. Dalam hal ini, viskositas kinematik yang dimaksud adalah viskositas dari fluida yang diinginkan, sedangkan difusivitas massa adalah kemampuan fluida berdifusi ke dalam fluida lingkungannya. Fluida simulasi menggunakan Rhodamine B sebagai indikator *mixing process*. Oleh karena itu, bilangan Schmidt dari Rhodamine B terhadap campuran gliserol dan air harus sama dengan metanol terhadap CPO. Berdasarkan data viskositas dan difusivitas Rhodamine B yang mengacu pada perbandingan %gliserol (w/w) 70% (FCS XPert Solutions) pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, bilangan Schmidt untuk Rhodamine B adalah:

Tabel 4. 1 Sampel viskositas

Glycerol % (w/w)	Viscosity (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

(FCS XPert Solutions)

Tabel 4. 2 Radius efektif dan korelasi waktu pada variasi viskositas

Viskositas (cP)	D (cm ² /s)	R _h (m)
1,15	2,4 x 10 ⁻⁶	8,9 x 10 ⁻¹⁰
2,00	1,4 x 10 ⁻⁶	1,5 x 10 ⁻⁹
2,65	1,1 x 10 ⁻⁶	2,0 x 10 ⁻⁹
3,70	7,6 x 10 ⁻⁷	2,8 x 10 ⁻⁹
4,80	5,8 x 10 ⁻⁷	3,7 x 10 ⁻⁹
5,65	5,0 x 10 ⁻⁷	4,4 x 10 ⁻⁹
7,65	3,6 x 10 ⁻⁷	5,9 x 10 ⁻⁹
9,85	2,8 x 10 ⁻⁷	7,6 x 10 ⁻⁹
13,7	2,0 x 10 ⁻⁷	1,1 x 10 ⁻⁸
20,0	1,4 x 10 ⁻⁷	1,5 x 10 ⁻⁸

(FCS XPert Solutions)

Variasi rasio mol pada fluida simulasi menyebabkan perbedaan densitas campuran fluida. Hal ini turut memengaruhi bilangan Schmidt. Dengan menggunakan persamaan (4.1), bilangan Schmidt Rhodamine B untuk ketiga variasi rasio mol ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Bilangan Schmidt untuk variasi rasio mol pada fluida simulasi

Rasio Mol	Difusivitas (cm ² /s)	Viskositas Dinamik (g/cm.s)	Densitas (g/cm ³)	Bilangan Schmidt
4:1	1,4 x 10 ⁻⁷	20 x 10 ⁻²	1,2000	1,190 x 10 ⁶
5:1	1,4 x 10 ⁻⁷	20 x 10 ⁻²	1,1978	1,193 x 10 ⁶
6:1	1,4 x 10 ⁻⁷	20 x 10 ⁻²	1,1849	1,206 x 10 ⁶

Dynamic viscosity CPO adalah sebesar 0,46 x 10⁻¹ Pa.s pada suhu 30°C (Neelamegam, P. & Krishnaraj, S. 2011). Dengan menggunakan pendekatan pada korelasi koefisien difusivitas dan *kinematics viscosity* pada larutan CH₃OH terhadap H₂SO₄ (Van Loon, Allen, & Wyxlouzil, 2008), bilangan Schmidt metanol terhadap CPO adalah pada ketiga variasi rasio mol ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Bilangan Schmidt untuk variasi rasio mol pada fluida metanol/CPO

Rasio Mol	Difusivitas (cm²/s)	Viskositas Dinamik g/cm.s)	Densitas (g/cm³)	Bilangan Schmidt
4:1	2,1 x 10 ⁻⁶	0,46	0,879864	2,489 x 10 ⁵
5:1	2,1 x 10 ⁻⁶	0,46	0,87691	2,498 x 10 ⁵
6:1	2,1 x 10 ⁻⁶	0,46	0,87402	2,506 x 10 ⁵

Semua variasi rasio mol pada kedua jenis campuran fluida menyatakan bahwa bilangan Schmidt Rhodamine B lebih besar daripada metanol. Hal ini menyatakan bahwa laju difusi pada metanol lebih cepat daripada Rhodamine B sehingga dapat dikatakan bahwa proses mencapai pencampuran yang homogen lebih cepat dicapai oleh metanol. Rhodamine B digunakan sebagai indikator pencampuran pada fluida simulasi dan dapat dijadikan indikasi lamanya campuran fluida reaksi mencapai keadaan homogen.

Fluida simulasi, yaitu campuran air dan gliserol, harus memiliki *dynamic viscosity* yang mendekati serupa agar proses pencampuran yang terjadi berada pada tingkat turbulensi yang sama. Secara umum, pencampuran terjadi mengikuti dua hal, *turbulent eddies* dan tingkat viskositas dari fluida tersebut. Secara sederhana, energi kinetik bergantung pada kecepatan aliran fluida, dan dalam analisis visualisasi ini, variasi kecepatan jet yang digunakan sama dengan variasi kecepatan jet pada studi reaksi, yaitu 5, 8, dan 11 m/s. Oleh karena itu, faktor berikutnya yang harus ditentukan adalah tingkat viskositas pada fluida simulasi. Untuk mengetahui *dynamic viscosity* pada fluida simulasi, terlebih dahulu harus diketahui *dynamic viscosity* dari fluida reaksi, campuran metanol dan CPO. Berikut adalah viskositas campuran metanol dan CPO yang diketahui dengan menggunakan Oswalds Viscometer. Uji viskositas ini dilakukan dengan metode *trial and error* dengan volume fluida sebesar 30ml. Volume masing-masing metanol dan CPO ditentukan berdasarkan rasio mol antara keduanya. Dengan mengetahui *dynamic viscosity*, volume masing-masing gliserol dan air dapat dihitung. Viskositas campuran fluida metanol/CPO ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Viskositas pada fluida campuran metanol/CPO

Rasio Mol	Volume (ml)		Massa (g)		Densitas Campuran (g/cm ³)	Viskositas (g/cm.s)
	Metanol	CPO	Metanol	CPO		
4:1	4,4	25,6	3,48392	22,912	0,879864	39,880
5:1	5,26	24,74	4,16487	22,1423	0,8769056	37,613
6:1	6,1	23,9	4,82998	21,3905	0,874016	32,078

Dengan menggunakan metode *trial and error* yang mengacu pada viskositas fluida campuran metanol-CPO, didapatkan perbandingan volume antara gliserol dan air seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Viskositas pada fluida campuran air/gliserol

Rasio Mol	Volume (ml)		Massa (g)		Densitas Campuran (g/cm ³)	Viskositas (g/cm.s)
	Air	Gliserol	Air	Gliserol		
4:1	6,7	23,3	6,7	29,3114	1,20038	42,199
5:1	7	23	7	28,934	1,1978	38,666
6:1	8,5	21,5	8,5	27,047	1,1849	31,962

Lalu, dengan perbandingan volume di atas, diperoleh volume masing-masing gliserol dan air untuk mengisi *jet column* yang memiliki volume total sebesar 6000ml, merujuk pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Volume gliserol dan air

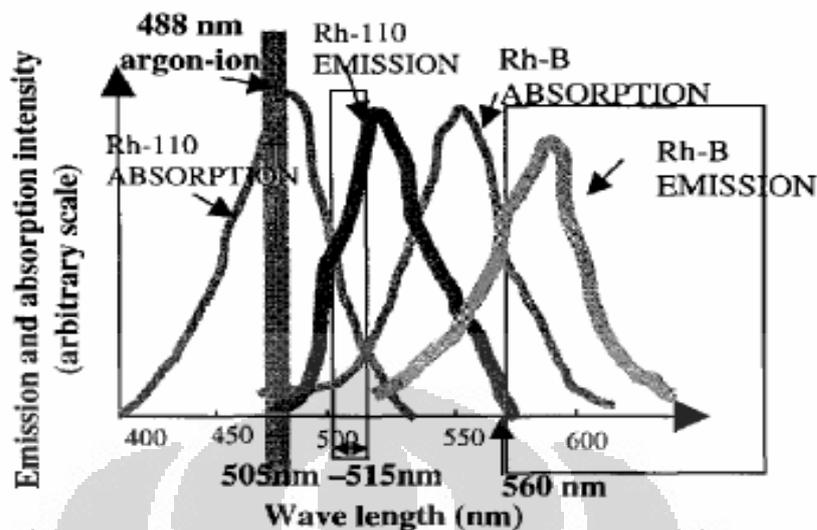
Rasio Mol	Volume (ml)	
	Air	Gliserol
4:1	1340	4660
5:1	1400	4600
6:1	1700	4300

Sebelum dilakukan analisis visualisasi pada *jet column*, dilakukan persiapan terlebih dahulu dengan membilas rangkaian alat dari sisa-sisa

pengujian sebelumnya yang dapat mengganggu pengujian dan perolehan data analisis visualisasi.

Berdasarkan rencana penelitian yang telah disusun sebelumnya, analisis visualisasi dilakukan pada *jet column* dengan variasi rasio mol air/gliserol setara dengan rasio mol metanol/CPO dan variasi kecepatan jet. Pada proses ini, air dan gliserol dicampur sesuai dengan volume masing-masing yang telah ditentukan di Tabel 4.6, kemudian Rhodamine B diinjeksikan ke dalam pipa tepat sebelum *nozzle* untuk mengamati fenomena bercampurnya fluida dinamis terhadap fluida stagnan di dalam *column*. Sedangkan variasi kecepatan jet dilakukan dengan mengatur bukaan *valve* agar mendapat variasi kecepatan yang telah ditetapkan. Rasio mol 3:1 adalah rasio mol stoikiometrik dari reaksi transesterifikasi biodiesel. Sedangkan rasio 6:1 adalah rasio mol optimum untuk meningkatkan konversi biodiesel yang tinggi. Rasio mol lebih dari menghasilkan metanol berlebih dalam proses (Leung 2010). Pada analisis visualisasi ini, dilakukan pengambilan dan pengolahan data dengan menggunakan metode LIF (*Laser Induced Fluorescence*). Metode ini menghasilkan map sebaran konsentrasi dan menjadi acuan cepat lambatnya proses pencampuran yang terjadi.

Rhodamine B menyerap cahaya yang ditembakkan laser, lalu atomnya terdeeksitasi sehingga memancarkan cahaya dengan panjang gelombang di atas 550nm untuk kembali ke keadaan semula seperti sebelum tereksitasi. Metode LIF menggunakan cahaya yang dipendarkan oleh Rhodamine B untuk menjadi indikator distribusi konsentrasi. Untuk itu, digunakan *filter* yang diletakkan di depan lensa kamera selama proses pengambilan video. Selama *fluorescence* berlangsung, terjadi dua buah proses, yaitu absorpsi dan emisi. *Filter* bisa mengisolasi daerah panjang gelombang dengan emisi yang memiliki intensitas tinggi dan absorpsi yang memiliki intensitas rendah sehingga efek absorpsi terhadap emisi bisa dieliminasi. Gambar 4.3 menunjukkan grafik emisi dan absorpsi Rhodamine B. Konsentrasi Rhodamine B juga memiliki korelasi kuat dengan intensitas emisi.

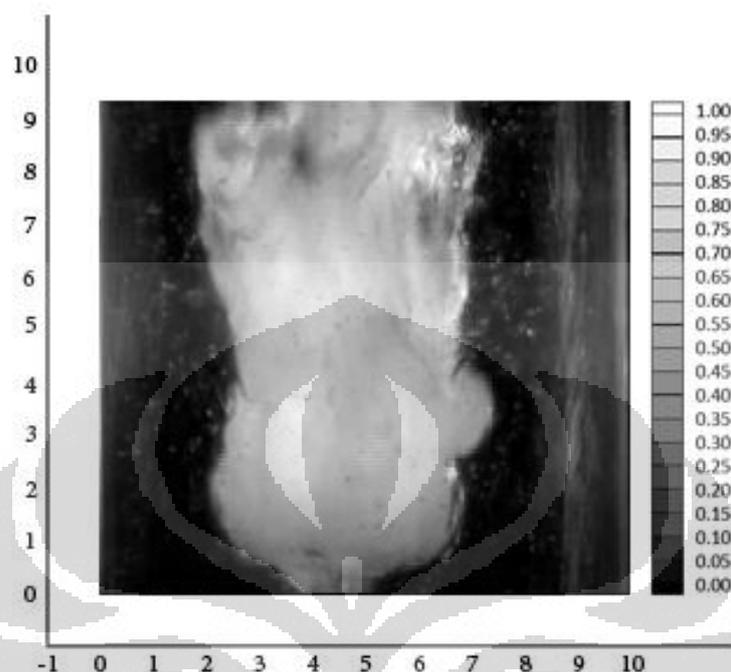


Gambar 4. 3 Grafik intensitas emisi dan absorpsi Rhodamine B

Salah satu contoh gambar sebaran konsentrasi dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pada gambar tersebut, di mana sumbu-x menunjukkan diameter dari kolom pancaran dengan titik awal (0,0) di ujung kiri kolom, level kontur konsentrasi ditunjukkan oleh level intensitas Rhodamine B. Karakter konsentrasi pada kolom menunjukkan *jet interface* yang menjadi seperti mengerut dikarenakan pengaruh dari perubahan pusaran turbulensi (*turbulence eddies*). Nilai konsentrasi yang berawal dari *centerline* akan bergerak menuju homogen memenuhi kolom (Webster, D. R. et al. 2001).

Saat fluida dinamis ditembakkan oleh jet dan memasuki kolom, secara perlahan, *jet length* pada daerah *center line* akan memanjang. Di saat yang sama, bagian pinggir *center line* yang bergesekan dengan fluida stagnan yang berada lebih dekat dengan dinding kolom berputar. Peristiwa ini dinamakan *vortex threads*. Turbulensi yang terjadi hanya akan berhenti ketika viskositas dari fluida cukup tinggi atau kecepatan jet yang lebih rendah. Geseran-geseran ini yang mengakibatkan terjadinya perpindahan massa dan perpindahan panas. Pencampuran pada fluida akan bergantung pada viskositas fluida dan kecepatan jet yang ditembakkan. Dengan menggunakan pewarna Rhodamine B, dapat ditentukan waktu yang harus ditempuh untuk

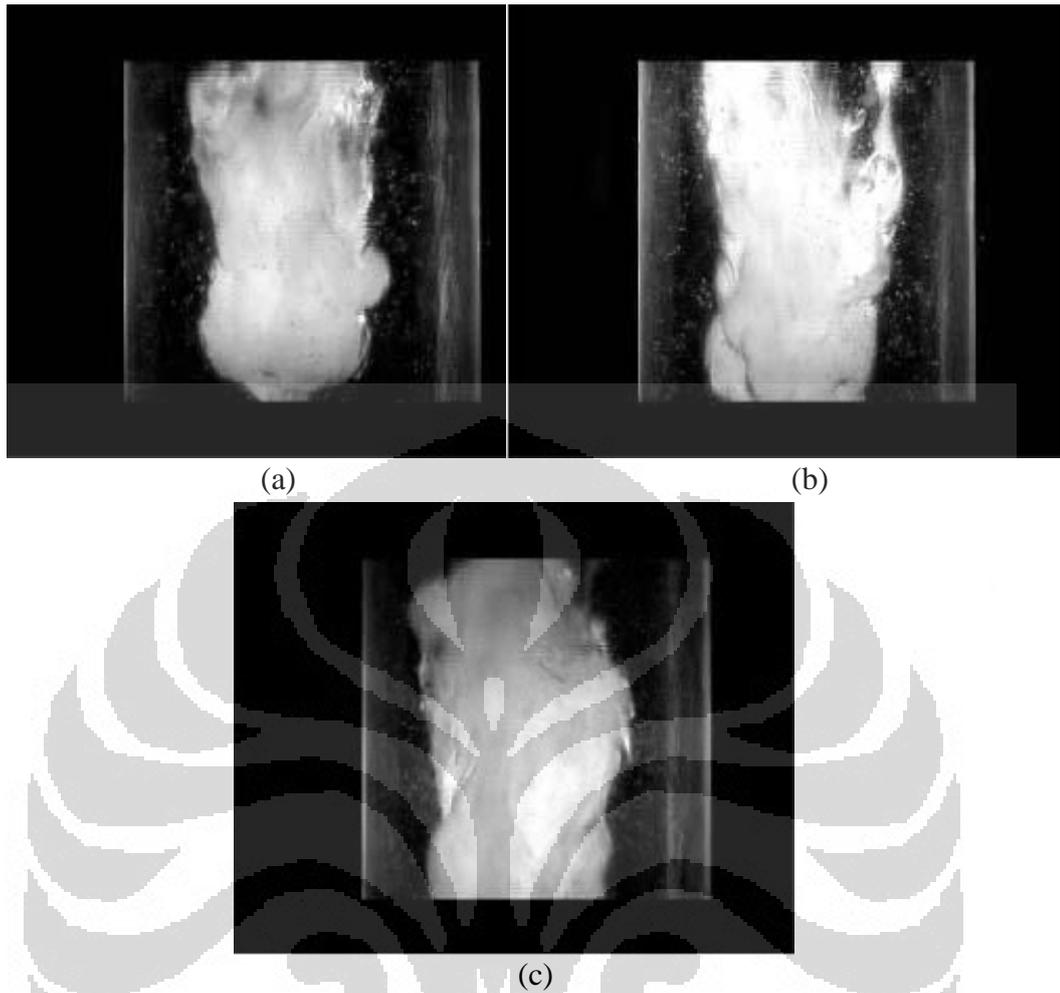
mencapai keadaan pencampuran sempurna atau kondisi homogen pada kolom.



Gambar 4. 4 Sebaran konsentrasi (*grayscale*) pada rasio mol 4:1 kecepatan 11 m/s saat $t = 1s$

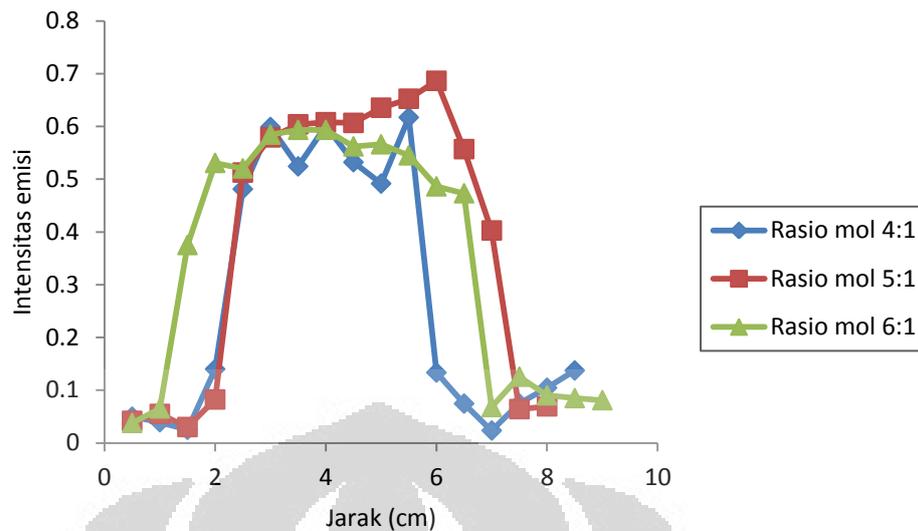
4.2.1 Variasi rasio mol dengan *jet velocity* sebesar 11 m/s pada $t = 1s$

Variasi rasio mol (air/glisierol) yang diuji adalah 4:1, 5:1, dan 6:1 dengan kecepatan 11 m/s. Sesaat setelah fluida dinamis ditembakkan, kecepatan jet sebesar 11 m/s ternyata sangat memengaruhi jarak jet yang ditempuh. Kondisi *jet length* pada ketiga rasio mol tidak terlalu berbeda jauh. Ketiganya hampir mencapai bagian bawah kolom. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran yang terjadi sangat dipengaruhi oleh kecepatan jet. Perbedaan viskositas antara ketiganya ternyata tidak terlalu memengaruhi. Secara kualitatif, dapat dikatakan bahwa permasalahan sulitnya tercampur antar reaktan disebabkan oleh tingginya viskositas dapat terpecahkan.



Gambar 4. 5 Kondisi pencampuran dengan *jet velocity* sebesar 11m/s pada rasio mol (a) 4:1 (b) 5:1 dan (c) 6:1 saat $t = 1s$

Tingkat konsentrasi pada ketiga rasio mol tersebut ditentukan dengan mempertimbangkan level *grayscale* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.6, rasio mol 6:1 terlihat lebih homogen dibandingkan dengan rasio mol yang lain. Level konsentrasi yang masih berbeda jauh antartitiknya menunjukkan bahwa di titik-titik tersebut pencampuran yang terjadi belum homogen.



Gambar 4. 6 Intensitas emisi pada ketiga jenis rasio mol saat $t = 1s$ pada *jet velocity* sebesar $11m/s$

Untuk membuktikan bahwa rasio mol 6:1 lebih homogen konsentrasi di tiap titiknya, analisis yang dilakukan menggunakan metode perhitungan standar deviasi. Standar deviasi didefinisikan sebagai rata-rata jarak penyimpangan titik-titik data diukur dari nilai rata-rata data tersebut. Semakin kecil nilai simpangan baku, berarti semakin kecil penyimpangan tiap data yang terjadi. Persamaan simpangan baku adalah:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.2)$$

di mana : N = jumlah data

x_i = nilai data

\bar{x} = nilai rata-rata data

Dengan menggunakan persamaan di atas, masing-masing simpangan baku pada variasi rasio mol saat $t = 1s$ adalah:

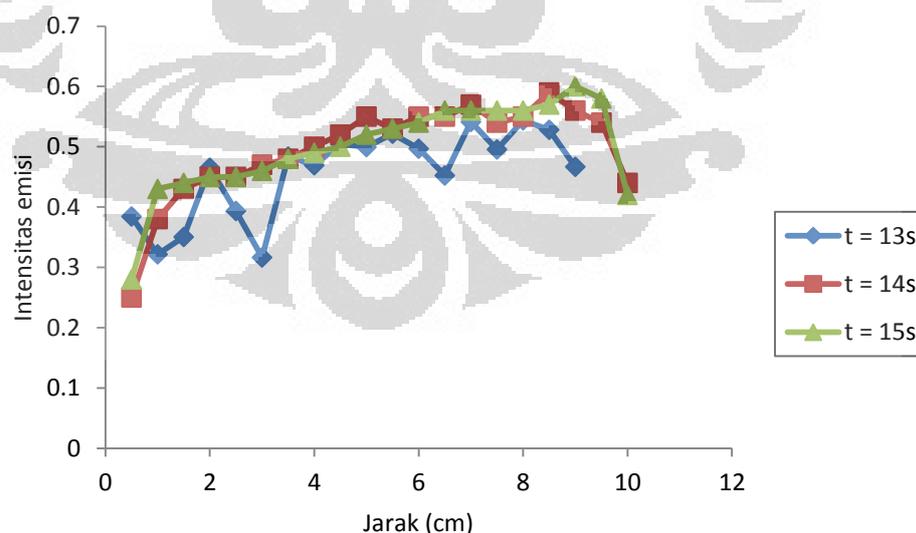
- Rasio mol 4:1 = 0,274
- Rasio mol 5:1 = 0,254
- Rasio mol 6:1 = 0,198

Data simpangan baku di atas menunjukkan bahwa rasio mol 6:1 memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan yang lain. Oleh karena itu,

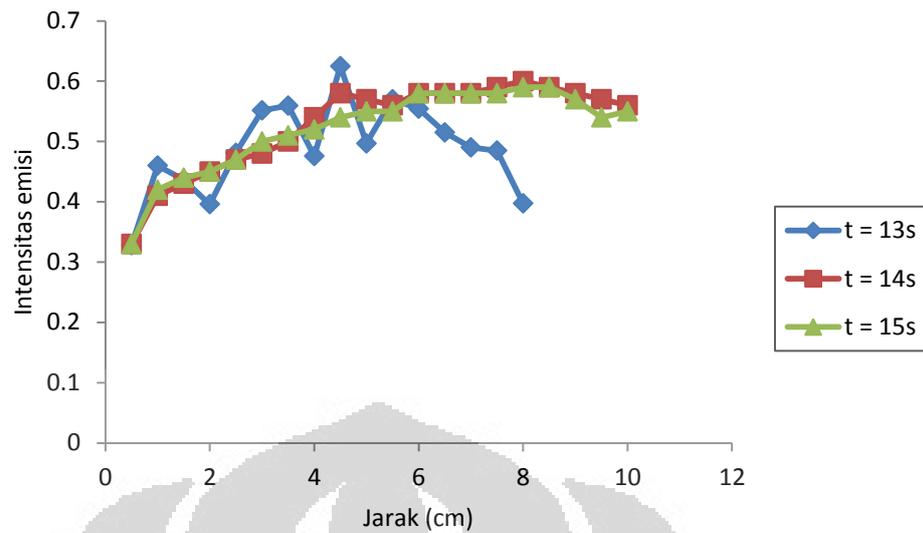
dapat dikatakan bahwa pada rasio mol 6:1 memiliki tingkat homogenitas yang lebih baik daripada yang lain. Hal ini dapat terjadi karena *jet velocity* yang digunakan mampu menghadapi tingginya viskositas fluida sehingga friksi antarmolekul yang terjadi menjadi lebih kecil. Friksi yang lebih kecil ini memungkinkan energi kinetik turbulen tetap bertahan dan membuat pencampuran berlangsung lebih cepat. Rendahnya perbedaan tingkat homogenitas antara ketiganya menandakan bahwa ketiga rasio mol tersebut memiliki tingkat viskositas yang sedikit berbeda, rasio mol 6:1 memiliki viskositas yang sedikit lebih rendah.

4.2.2 Variasi rasio mol dengan *jet velocity* sebesar 11m/s pada $t = 13s$, 14s, dan 15s

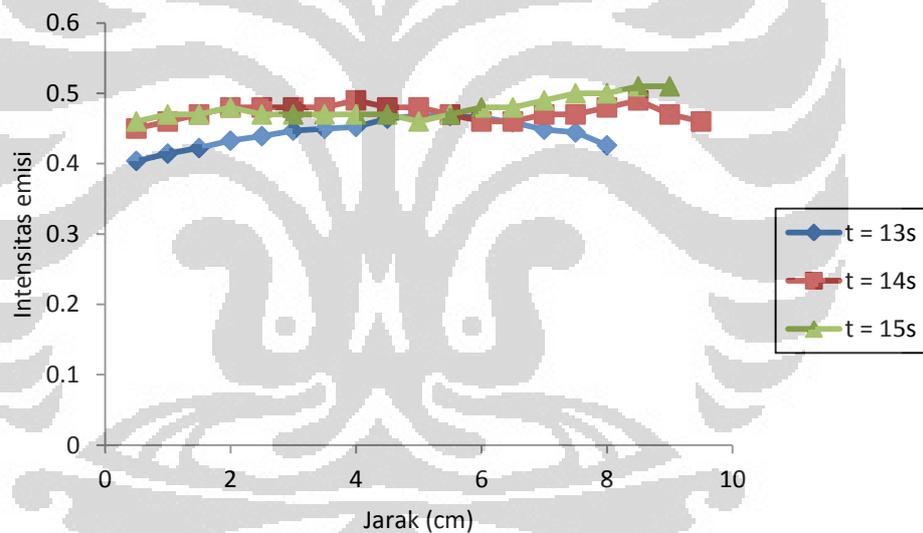
Berbeda dengan uji variasi rasio mol pada $t = 1s$, analisis visualisasi fluida pada uji kedua ini dilakukan pada tiga detik terakhir sebelum metode LIF selesai dilakukan. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengamati waktu tercapainya homogenitas pada variasi rasio mol fluida. Berikut adalah data tingkat sebaran konsentrasi pada ketiga variasi rasio mol berdasarkan waktu, dari 13 detik hingga 15 detik pada kecepatan jet sebesar 11m/s.



Gambar 4. 7 Intensitas emisi fluida dengan rasio mol 4:1 pada $t = 13s$, 14s, dan 15s saat $v = 11m/s$



Gambar 4. 8 Intensitas emisi fluida dengan rasio mol 5:1 pada $t = 13s, 14s,$ dan $15s$ saat $v = 11m/s$



Gambar 4. 9 Intensitas emisi fluida dengan rasio mol 6:1 pada $t = 13s, 14s,$ dan $15s$ saat $v = 11m/s$

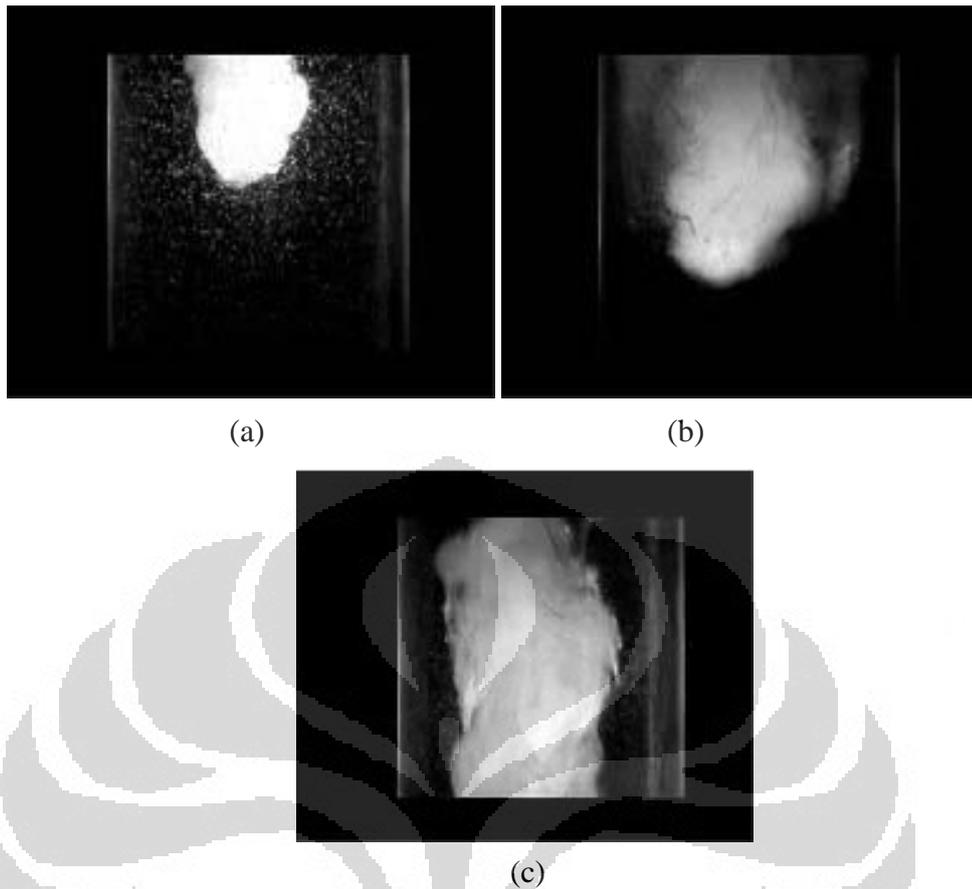
Pada ketiga grafik di atas terdapat plot garis level konsentrasi dalam *jet column* pada $t = 13s, 14s,$ dan $15s$. Plot garis yang terlihat saling menindih menjadi indikator bahwa fluida telah mengalami proses pencampuran yang menyeluruh di *jet column*. Dari ketiga grafik di atas, terlihat bahwa sejak $t = 13s$, hanya fluida dengan rasio mol 6:1, Gambar 4.9, yang ketiga plot garisnya sudah saling menindih. Level konsentrasi fluida dengan rasio mol

6:1 telah berada dalam kondisi homogen sejak $t = 13s$. Sedangkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8, plot garis pada $t = 13s$ tidak menindih garis lainnya. Namun baru saat $t = 14s$, plot garis baru saling menindih dengan plot garis lainnya. Hal ini menandakan bahwa pada fluida dengan rasio mol 4:1 dan 5:1, kondisi homogen dicapai saat $t = 14s$. Jika analisis dilanjutkan, plot garis pada $t = 16s$ dan seterusnya akan tetap saling menindih.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi homogen yang dicapai oleh fluida dengan rasio mol 6:1 berbeda dengan fluida dengan rasio mol 4:1 dan 5:1. Hal ini dapat terjadi karena viskositas fluida dengan rasio mol 6:1 lebih rendah daripada dua fluida lain. Viskositas fluida yang rendah mempermudah peristiwa pencampuran karena Reynolds *number* yang dimiliki menjadi lebih tinggi. Artinya, energi kinetik turbulensi yang dimiliki besar dan mempercepat peristiwa pencampuran. Secara kualitatif dan kuantitatif, dapat disimpulkan bahwa viskositas tidak terlalu memengaruhi cepat lambatnya proses pencampuran.

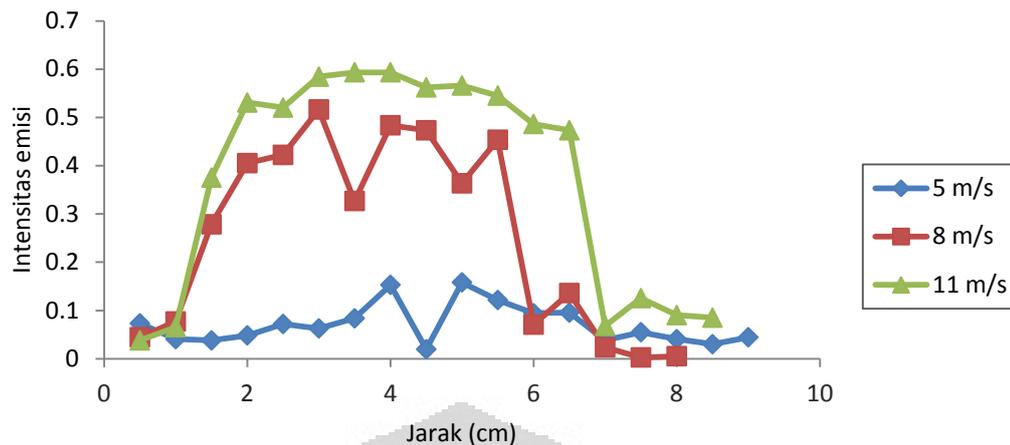
4.2.3 Variasi *jet velocity* pada rasio mol 6:1 saat $t = 1s$

Variasi rasio mol dan kecepatan pancaran yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin keduanya memiliki pengaruh terhadap sebaran konsentrasi pada kolom. Semakin cepat kecepatan pancaran pada rasio mol yang sama, maka semakin cepat pula proses menuju homogenisasi itu berlangsung. Gambar 4.11 menunjukkan level konsentrasi yang terjadi pada rasio 6:1 untuk tiga variasi kecepatan pada $t = 1s$. Analisis visualisasi ini bertujuan untuk mengamati perbedaan pencampuran saat *jet velocity* yang berbeda pada rasio mol 6:1.



Gambar 4. 10Sebaran konsentrasi pada fluida dengan rasio mol 6:1 pada *jet velocity* (a) 5m/s, (b) 8m/s, dan (c) 11m/s saat $t = 1s$

Tingkat konsentrasi pada ketiga variasi kecepatan jet tersebut ditentukan dengan mempertimbangkan level *grayscale* pada *jet column*. Pada Gambar 4.12, kecepatan jet 11m/s terlihat memiliki level konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan rasio mol yang lain. Pencampuran masih berpusat pada *center line* saat $t = 1s$. Perbedaan level konsentrasi pada *center line* yang sangat signifikan menunjukkan bahwa *jet velocity* sangat memengaruhi cepat lambatnya peristiwa pencampuran.

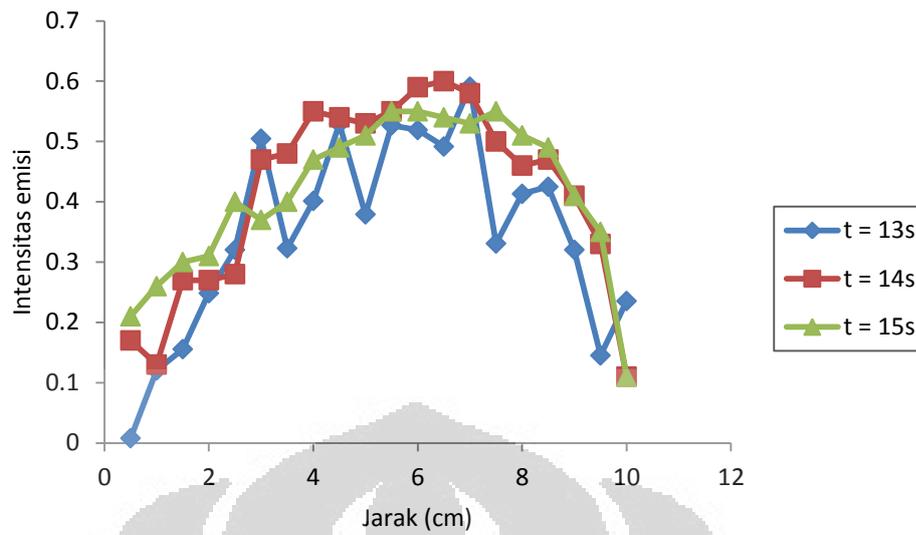


Gambar 4. 11 Intensitas emisi pada rasio mol 6:1 saat $t = 1s$

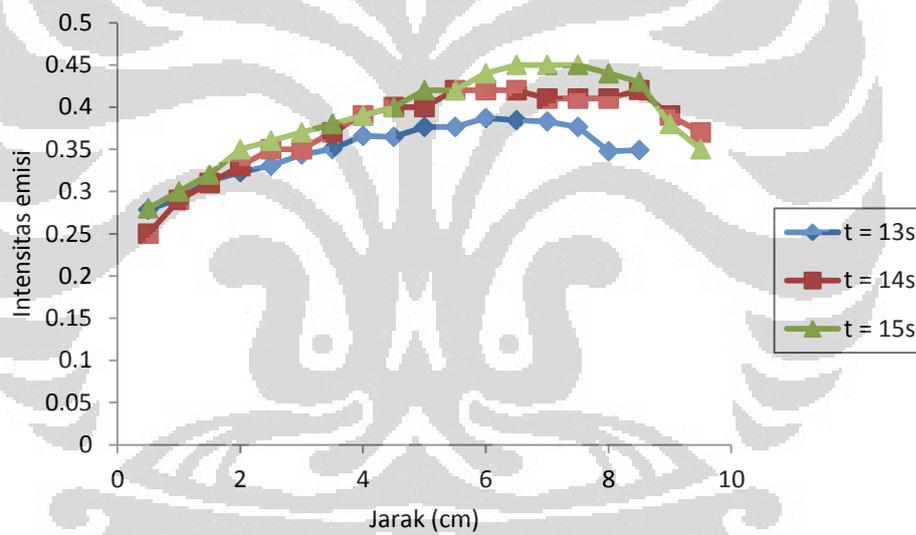
Semakin tinggi kecepatan jet, semakin cepat pula pencampuran dan pusaran turbulen pada sistem yang lalu mengakibatkan peningkatan mekanisme perbaruan lapisan, difusivitas *eddy*, dan perpindahan massa antarmuka ((Nosratinia et al., 2010).

4.2.4 Variasi *jet velocity* pada rasio mol 6:1 saat $t = 13s, 14s, \text{ dan } 15s$

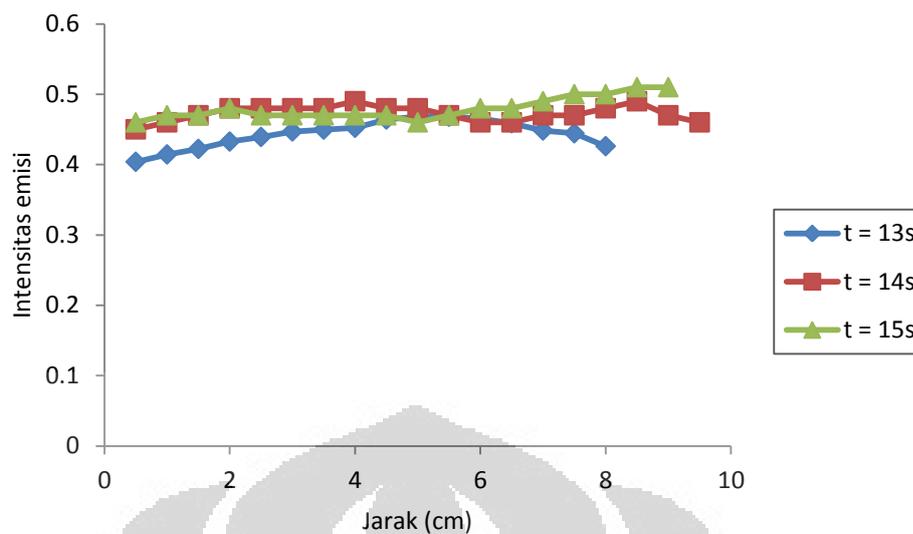
Pada variasi rasio mol yang paling tinggi, 6:1, dilakukan variasi kecepatan jet. Hal ini bertujuan untuk mengamati perubahan sebaran konsentrasi pada kecepatan jet yang berbeda-beda. Berikut adalah grafik-grafik yang mewakili sebaran konsentrasi pada kecepatan jet 5m/s, 8m/s, dan 11m/s.



Gambar 4. 12 Intensitas emisi saat $v = 5\text{m/s}$ pada rasio mol 6:1



Gambar 4. 13 Intensitas emisi saat $v = 8\text{m/s}$ pada rasio mol 6:1



Gambar 4. 14 Intensitas emisi saat $v = 11 \text{ m/s}$ pada rasio mol 6:1

Pada ketiga grafik di atas terdapat plot garis level konsentrasi dalam *jet column* pada $t = 13\text{s}$, 14s , dan 15s . Seperti analisis visualisasi pada variasi rasio mol, plot garis yang terlihat saling menindih menjadi indikator bahwa fluida telah mengalami proses pencampuran yang menyeluruh di *jet column*. Dari ketiga grafik di atas, terlihat bahwa hanya saat $v = 11 \text{ m/s}$, ketiga plot garis saling menindih satu sama lain. Dapat disimpulkan bahwa sejak detik ke 13, fluida telah terdistribusi merata memenuhi *jet column*. Sementara itu, saat $v = 8 \text{ m/s}$, kondisi fluida saat $t = 14\text{s}$ dan $t = 15\text{s}$ terlihat hampir saling menindih sempurna, namun tidak merata di semua bagian kolom. Fluida pada jarak 0cm hingga 6cm tampak sudah homogen, sedangkan fluida pada posisi 6cm hingga 8cm belum homogen, dan diakhiri dengan kondisi fluida pada jarak 8cm hingga 10cm yang sudah homogen.

Kecepatan jet yang tinggi dapat meniadakan faktor viskositas yang tinggi sehingga pencampuran dapat berjalan lebih mudah. Energi kinetik turbulensi yang dihasilkan diubah menjadi energi panas, lalu energi panas tersebut memengaruhi viskositas sehingga menjadi rendah.

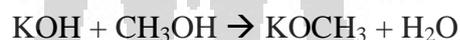
4.3 Studi Reaksi

Berdasarkan rencana penelitian, reaksi sintesis biodiesel pada reaktor *jet column* dilakukan dengan variasi rasio mol metanol/CPO dan penggunaan

katalis (reaksi katalitik dan nonkatalitik). Bahan yang digunakan adalah *crude palm oil* (CPO) yang berfungsi sebagai sumber trigliserida. Reaksi berjalan selama 60 menit pada semua rasio mol, namun dilakukan pengambilan sampel produk pada $t = 20$ menit dan $t = 40$ menit. Variasi rasio mol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4:1, 5:1, dan 6:1. Reaksi yang menggunakan katalis hanya dilakukan pada rasio mol 6:1 sehingga didapat perbandingan *yield* biodiesel reaksi katalitik tersebut dengan *yield* biodiesel pada reaksi nonkatalitik dengan rasio mol 6:1. Perbandingan ini dilakukan untuk mengamati hubungan kondisi pencampuran optimal dengan dan tanpa katalis dalam reaksinya.

Untuk reaksi nonkatalitik, seluruh proses dan variabel sama dengan proses pada reaksi katalitik. Tidak semua reaksi nonkatalitik cukup untuk memperoleh *yield* biodiesel, karena dua reaksi, pada rasio mol 6:1 yang dilakukan selama 20 menit dan 40 menit, tidak dapat memproduksi *yield* biodiesel. Konversi trigliserida yang terjadi pada reaksi ini hanya sedikit.

Pada reaksi katalitik, katalis yang digunakan adalah KOH yang terlebih dahulu dilarutkan ke dalam metanol. Reaksi yang terlibat adalah:



Reaktor *jet column* adalah *continuous reactor* yang menyirkulasikan fluida selama reaksi berlangsung. Peristiwa pencampuran yang terjadi pada *jet column* dikarenakan kecepatan fluida yang mengakibatkan turbulensi dan menghasilkan panas yang berasal dari gesekan antarlapisan pada fluida turbulen.

Produk yang dihasilkan terdiri atas dua fasa, di mana fasa atas adalah metil ester (biodiesel) dan fasa bawah adalah gliserol sebagai produk samping. Metil ester dipisahkan secara sederhana dengan cara dituang, lalu setelah terpisah, dilakukan *treatment* terhadap biodiesel agar kualitasnya baik. *Treatment* yang dilakukan terdiri atas pencucian dengan aquadest untuk menghilangkan sisa metanol, katalis, dan gliserol yang mungkin terbawa. Setelah dilakukan pencucian dengan air, Na_2SO_4 anhidrat ditambahkan

sebanyak 1% berat untuk mengikat air yang mungkin masih tertinggal setelah proses pencucian sebelumnya.

4.3.1 Produk Biodiesel Hasil Reaksi Katalitik

Reaksi katalitik dilakukan pada rasio mol 6:1 dengan katalis KOH selama 60 menit. Sebelum direaksikan, fluida reaktan yang berada di dalam jet column terdiri atas dua fasa, di mana fasa atas yang tidak berwarna adalah metanol dan fasa bawah yang berwarna kekuningan adalah CPO. Produk berhasil terdiri atas dua lapisan berbeda warna di mana lapisan atas berwarna kekuningan dan lapisan bawah berwarna kecoklatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Lapisan atas adalah metil ester, sedangkan bagian bawah adalah gliserol (Karnanim, 2010).

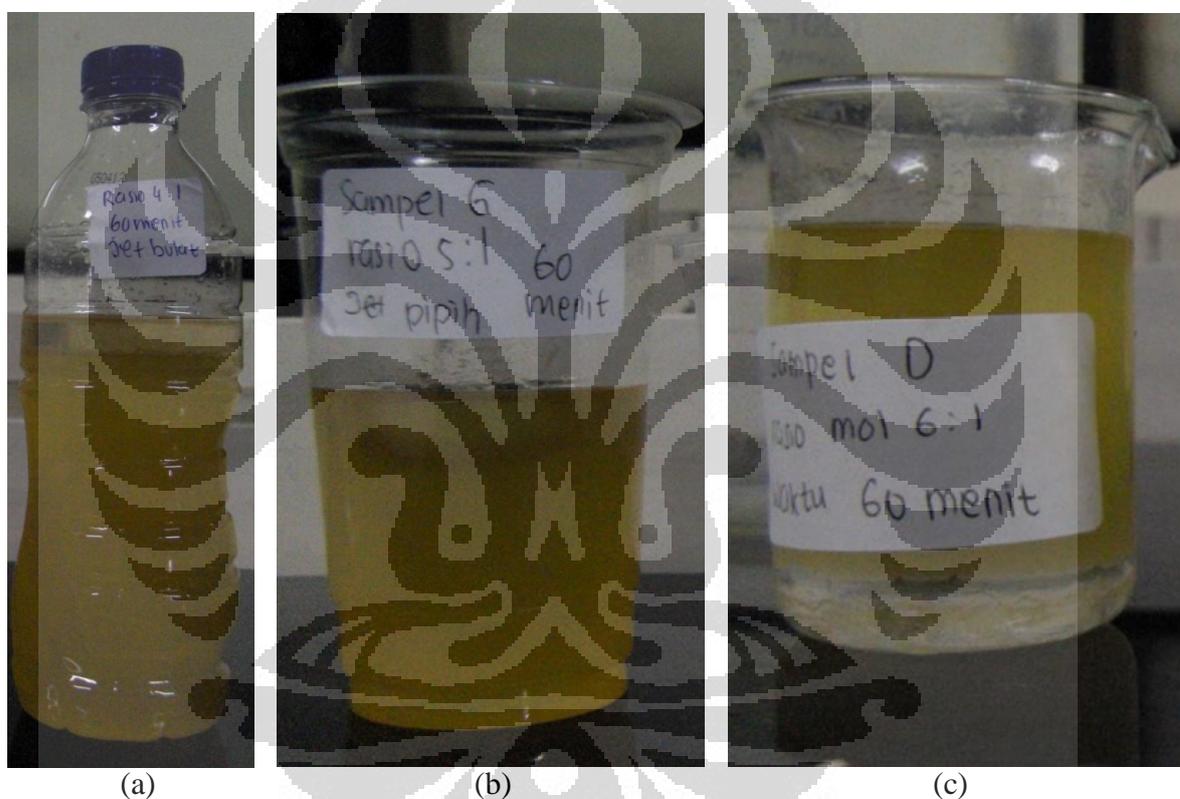


Gambar 4. 15 Produk hasil reaksi katalitik selama 60 menit pada rasio mol 6:1

Gliserol berada pada lapisan bagian bawah karena memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan metil ester, yaitu sebesar $1,25\text{g/cm}^3$. Sedangkan metil ester hanya memiliki densitas sebesar $0,88\text{g/cm}^3$. Terbentuknya dua lapisan ini menandakan bahwa reaksi katalitik biodiesel dapat berlangsung.

4.3.2 Produk Biodiesel Hasil Reaksi Nonkatalitik

Pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik, variasi yang dilakukan adalah rasio mol metanol dan minyak, serta waktu reaksi. Variasi rasio mol adalah sebesar 4:1, 5:1, dan 6:1, lalu pada rasio mol 6:1 dilakukan variasi waktu reaksi sebanyak 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Sedangkan pada rasio mol 4:1 dan 5:1 hanya dilakukan reaksi selama 60 menit. Hasil pengamatan kualitatif untuk biodiesel dari hasil reaksi nonkatalitik ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 16 Hasil biodiesel reaksi nonkatalitik (a) rasio 4:1, (b) rasio 5:1, dan (c) rasio 6:1

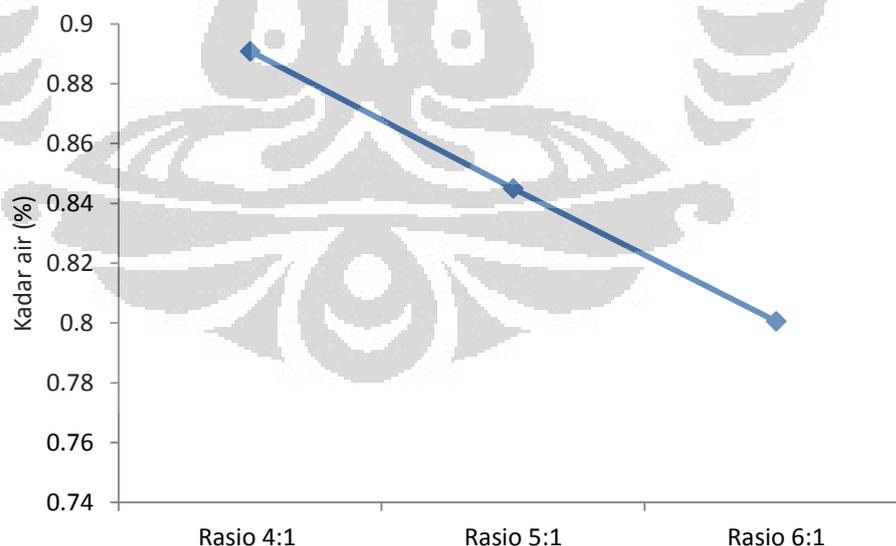
Pada rasio mol 6:1, muncul dua lapisan, yaitu biodiesel dan gliserol. Tetapi, pada dua buah rasio mol di bawah rasio mol 6:1, tidak terdapat perbedaan lapisan didalamnya. Kondisi ini terjadi karena beberapa hal, yaitu faktor katalis dan rasio mol. Jumlah metanol yang digunakan tidak terlalu berlebih sehingga kontak antara umpan minyak dan metanol

menjadi lebih kecil. Kedua hal ini mengakibatkan reaksi nonkatalitik pada kedua variasi rasio mol, 4:1 dan 5:1, tidak berhasil.

Produk hasil reaksi pada rasio mol 6:1 terdiri atas dua lapisan. Lapisan atas yang berwarna kekuningan adalah metil ester sedangkan lapisan bawah adalah gliserol. Berbeda dengan reaksi katalitik, gliserol tidak berwarna/bening. Hal ini dikarenakan reaksi tidak menggunakan katalis yang dapat melepas kandungan beta karoten pada minyak dan dapat mengotori gliserol. Hal inilah yang terjadi pada gliserol hasil reaksi katalitik sehingga terlihat berwarna kecoklatan.

4.3.3 Kandungan Air Produk Biodiesel

Dalam reaksi transesterifikasi, sejumlah kecil air turut dihasilkan dan dapat menyebabkan pembentukan sabun selama proses (Hanna, et al 1999). Hal inilah yang menyebabkan biodiesel yang dihasilkan mengandung kadar air. Batas kadar air yang diperbolehkan adalah sebesar 0,05%wt berdasarkan ASTM D-6751 untuk biodiesel dan ASTM D-93 untuk solar.



Gambar 4. 17 Kadar air biodiesel untuk variasi rasio mol metanol:CPO

Gambar 4.18 menunjukkan penurunan nilai kadar air pada rasio 4:1, 5:1 dan 6:1. Pada rasio 6:1, sampel memiliki kadar air terendah yaitu 0,8%.

Akan tetapi nilai tersebut masih lebih tinggi di atas ambang batas maksimal kadar air dalam bahan bakar diesel yang diperbolehkan. Hal ini terjadi karena pada saat pencucian menggunakan aquadest untuk menghilangkan pengotor, masih ada air yang tertinggal di dalam biodiesel. Penambahan senyawa anhidrat Na_2SO_4 sebesar 1% berat tidak mampu mengurangi kadar air pada sampel biodiesel dengan baik. Pada reaksi ini, bahan baku yang digunakan adalah minyak goreng curah dengan kualitas yang rendah. Jenis minyak curah ini memiliki kadar air yang lebih tinggi daripada minyak kelapa sawit jenis RBDPO.

4.3.4 Bilangan Asam Produk Biodiesel

Bilangan asam adalah 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, ditunjukkan pada Tabel 4.8.

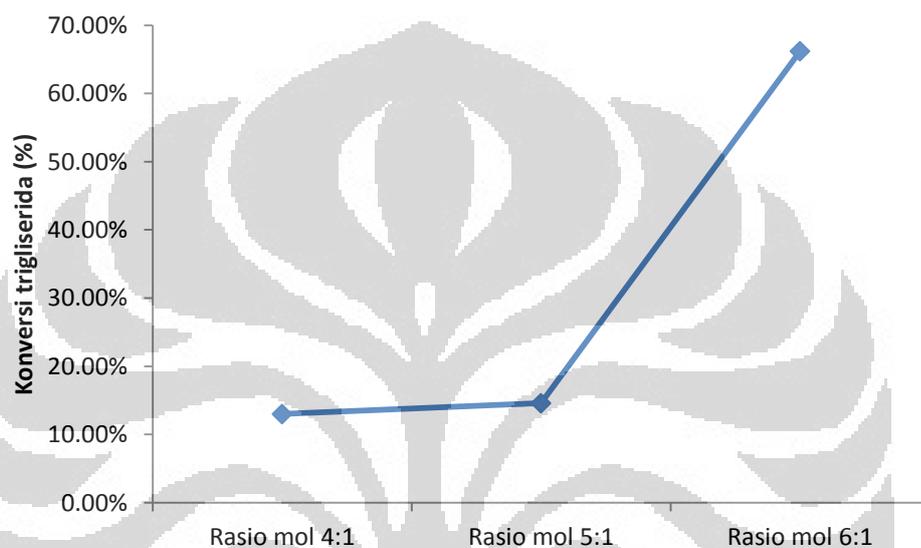
Tabel 4. 8 Nilai bilangan asam dari produk biodiesel

Rasio Mol Metanol/CPO	Waktu Reaksi (menit)	Nilai Bilangan Asam (mg KOH/g minyak)
4:1	60	0,140264
5:1	60	0,210396
6:1	20	0,140264
6:1	40	0,210396
6:1	60	0,140264
6:1 (katalis)	60	0,420792

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

4.3.5 Konversi Trigliserida

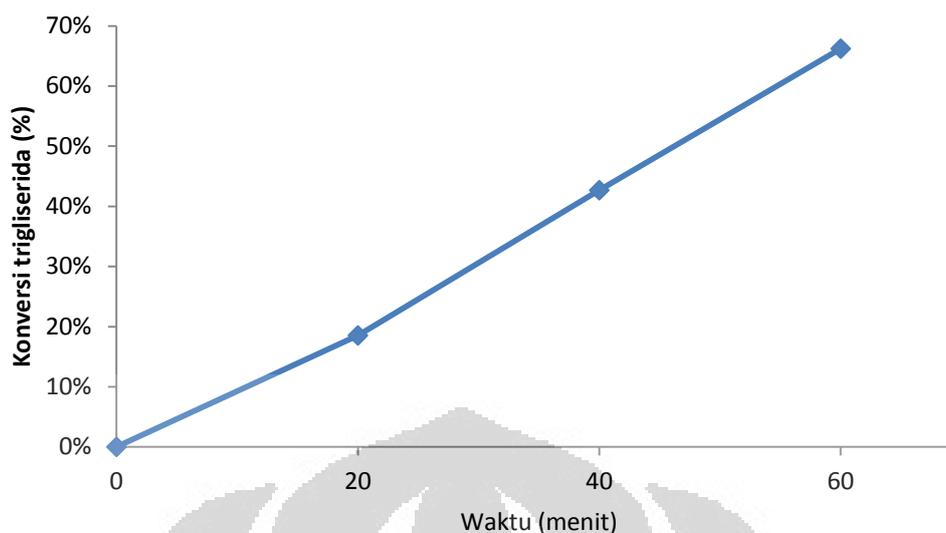
Berdasarkan hasil analisis uji HPLC (*high performance liquid chromatography*), diperoleh data-data konsentrasi trigliserida di tiap sampel uji analisis. Berikut adalah grafik konversi trigliserida untuk variasi rasio mol (4:1, 5:1, dan 6:1) pada menit ke-60 untuk reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik.



Gambar 4. 18 Konversi trigliserida pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik selama 60 menit

Pada Gambar 4.19 terlihat bahwa ada kecenderungan kenaikan konversi trigliserida seiring dengan kenaikan rasio mol metanol:CPO. Hal ini terjadi disebabkan oleh jumlah metanol yang digunakan dalam reaksi semakin banyak seiring dengan kenaikan rasio mol. Dengan banyaknya jumlah metanol yang ada, peluang kontak metanol dengan trigliserida semakin besar dan konversi semakin baik.

Konversi trigliserida pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik dengan rasio mol 6:1 selama tiga titik pengambilan sampel, yaitu pada menit ke-20, 40, dan 60 diperlihatkan pada Gambar 4.20.



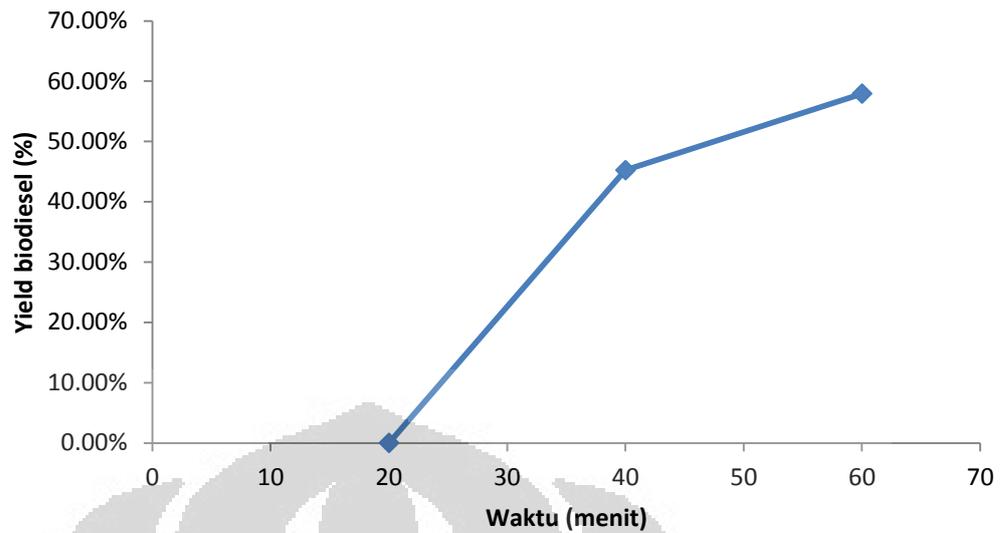
Gambar 4. 19 Konversi trigliserida pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik dengan rasio mol 6:1

Peningkatan konversi trigliserida seiring dengan lamanya waktu menunjukkan bahwa jumlah trigliserida yang bereaksi terus mengalami kenaikan mulai dari awal reaksi hingga menit ke-60. Kenaikan yang terjadi dapat dikatakan konstan saat pengambilan sampel setiap 20 menit. Kenaikan yang terus terjadi hingga menit ke-60 menunjukkan bahwa reaksi masih belum mencapai kesetimbangan.

Semakin lama waktu reaksi, semakin besar pula energi kinetik turbulensi jika dibandingkan dengan viskositas yang semakin kecil. Turbulensi yang terjadi karena friksi antar-layer menghasilkan panas sehingga suhu fluida mengalami kenaikan. Energi kinetik turbulensi dan faktor suhu inilah yang menaikkan laju kinetika reaksi.

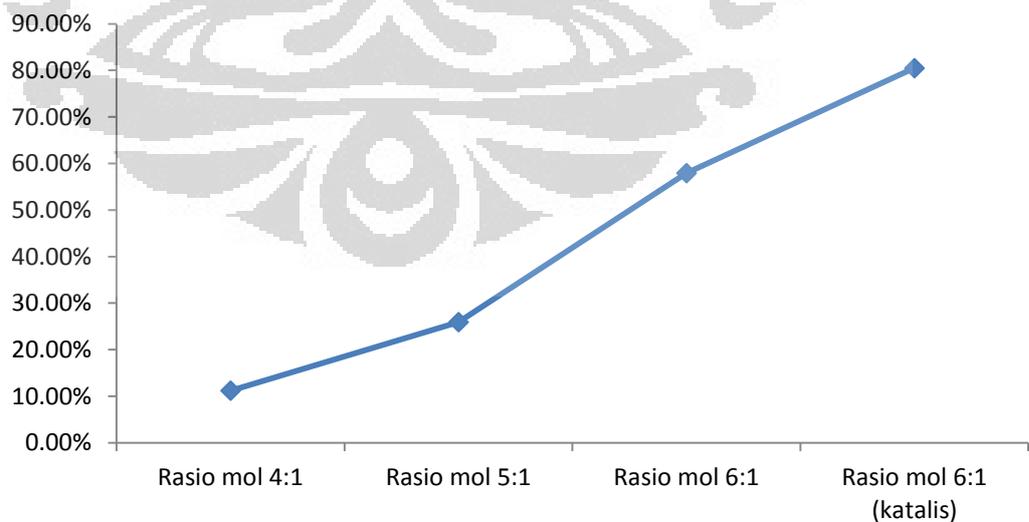
4.3.6 Yield Biodiesel

Berdasarkan data pada hasil uji HPLC, diperoleh data-data konsentrasi metil ester, digliserida, dan monogliserida. Gambar 4.21 adalah grafik yang menunjukkan perkembangan kandungan metil ester pada reaksi sintesis biodiesel nonkatalitik dengan rasio mol 6:1. Gambar 4.22 menunjukkan grafik kenaikan *yield* biodiesel di setiap variasi rasio mol biodiesel.



Gambar 4. 20 *Yield* produk biodiesel pada reaksi nonkatalitik dengan rasio mol 6:1

Gambar 4.21 menunjukkan bahwa pembentukan biodiesel semakin meningkat, mulai dari awal reaksi hingga menit ke-60. Hingga menit ke-60, grafik menunjukkan bahwa terus terjadi peningkatan *yield* biodiesel yang berarti reaksi belum mencapai kesetimbangan sehingga dapat dikatakan bahwa *yield* biodiesel masih akan terus bertambah seiring berjalannya waktu.



Gambar 4. 21 Perbandingan *yield* produk biodiesel pada reaksi nonkatalitik dan katalitik di setiap variasi rasio mol saat $t = 60$ menit

Berdasarkan Gambar 4.22, terlihat bahwa pada penggunaan rasio mol 4:1 dan 5:1, yield yang dihasilkan tidak jauh berbeda satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan jumlah reaktan metanol dari kondisi rasio mol 4:1 hingga rasio mol 5:1, belum menghasilkan kenaikan yield yang signifikan. Oleh karena itu, lebih baik menaikkan rasio mol hingga 6:1 untuk menaikkan jumlah yield secara cukup signifikan.

Penggunaan katalis dalam reaksi biodiesel akan menambah yield biodiesel yang dihasilkan. Pada reaksi katalitik, metanol terlebih dulu bereaksi dengan basa untuk membentuk metoksi. Penggunaan reaktan metanol yang berlebih mengakibatkan semakin banyak metoksida yang terbentuk antara metanol dan katalis KOH. Hal ini akan memperbesar peluang terjadinya penyerangan metoksida terhadap trigliserida yang mengakibatkan terjadi reaksi membentuk biodiesel. 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 meminimalisasi penggunaan air untuk melarutkan KOH, sehingga katalis kalium metoksida (KOCH_3) lebih sering digunakan

4.4 Pengaruh Pencampuran terhadap Reaksi

Pengamatan pencampuran adalah sebuah bentuk studi optimasi pembentukan *yield* biodiesel pada reaksi sintesis katalitik maupun nonkatalitik. Studi sejenis dengan menggunakan *jet bubble column* yang pernah dilakukan menyatakan bahwa semakin tinggi kecepatan jet, semakin tinggi pula *shears* yang dihasilkan. Rasio mol yang semakin tinggi (viskositas rendah) turut memengaruhi kenaikan *shears* dan mempercepat pencampuran yang terjadi (Nurhanjati, 2011).

Jet column memang digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan konversi dan *yield* biodiesel. Variasi rasio mol dan kecepatan jet digunakan untuk menganalisis apakah permasalahan tingginya viskositas bisa terselesaikan dengan studi ini. Penggunaan *jet column* ini dilakukan

berdasarkan konsep penggunaan *high turbulent eddies* untuk menciptakan kondisi pencampuran yang optimal sehingga reaksi dapat berjalan lebih awal.

Pencampuran dan laju reaksi adalah dua hal yang berhubungan. Reaksi tidak akan terjadi jika reaktan tidak mengalami kontak dengan baik hingga level antarmolekul. Proses terjadinya reaksi sangat tergantung pada cepat lambatnya reaktan mengalami kontak. Pencampuran yang sempurna atau homogen adalah sebuah kondisi dimana campuran fluida/reaktan berada dalam konsentrasi yang sama secara keseluruhan. Kondisi yang homogen ini dapat memaksimalkan pembentukan produk yang diinginkan (Shah, Kostiuk, & Kresta, 2008). Dalam pencampuran, ada dua bagian yang penting, yaitu luas area kontak dan difusivitas. Difusi adalah faktor terakhir dari peristiwa pencampuran, sedangkan faktor yang paling berperan dalam mencapai pencampuran, yang homogen adalah luas area kontak. Aspek kedua yang berperan dalam pembentukan produk akhir adalah kinetika reaksi. Semakin tinggi laju reaksi produk yang diinginkan dibandingkan dengan laju reaksi produk yang tidak diinginkan, semakin besar produk akhir.

Damkohler *number* adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan rasio antara laju pencampuran dengan laju reaksi pada reaksi. Salah satu persamaan Damkohler adalah:

$$Da = \frac{\tau_M}{\tau_R} \quad (4.3)$$

dimana: τ_M = laju pencampuran
 τ_R = laju reaksi

Dengan menggunakan metode LIF untuk mengukur distribusi konsentrasi pada fluida yang bereaksi, diperoleh hasil bahwa kondisi homogen pada kolom telah terjadi pada waktu yang sangat singkat. Mengacu pada Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9, pencampuran pada kondisi homogen sudah terjadi pada detik ke-13 untuk rasio mol 6:1 dan detik ke-14 untuk rasio mol 4:1 dan 5:1. Jika dibandingkan dengan studi reaksi yang dilakukan dengan mengacu pada

Gambar 4.21 dan 4.22, *yield* biodiesel yang tinggi dihasilkan pada menit ke-60.

Dengan mengetahui bahwa Schmidt *number* Rhodamine B yang lebih tinggi daripada metanol, dapat dipahami bahwa metanol berdifusi lebih cepat dibandingkan dengan Rhodamine B. Mengasumsikan bahwa laju pencampuran Rhodamine mewakili laju pencampuran metanol, diperoleh nilai Damkohler *number*:

$$Da = \frac{\tau_M}{\tau_R} = \frac{\text{characteristic fluid time}}{\text{characteristic chemical reaction time}} = \frac{14s}{3600s} = 0,00389$$

$$Da \ll 1$$

Nilai Damkohler *number* yang sangat kecil tersebut bahwa pada reaksi sintesis biodiesel yang dilakukan, faktor yang paling berperan adalah laju reaksi dibandingkan dengan laju pencampuran. Optimasi pencampuran yang dilakukan mampu menjawab permasalahan tingginya viskositas yang selama ini menyulitkan terjadinya kontak pada reaktan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tidak adanya hubungan antara laju pencampuran dengan laju kinetika reaksi karena orde waktu masing-masing berbeda jauh.

Perbedaan laju pencampuran dan laju reaksi menunjukkan bahwa dalam reaksi sintesis biodiesel, laju reaksi menjadi faktor pengontrol terbentuknya produk akhir. Meningkatkan laju pencampuran hanya mempermudah terjadinya kontak yang homogen dan difusi antarreaktan. Proses pencampuran yang terjadi tidak menghasilkan energi yang cukup untuk mencapai energi aktivasi pada reaksi sintesis biodiesel. Setelah kondisi homogen tercapai, reaksi baru mulai terjadi ketika energi dalam fluida campuran telah mencapai energi aktivasinya. Jika belum tercapai, reaksi tidak akan berlangsung atau berlangsung lambat sekali.

Laju reaksi berdasarkan persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{-Ea/RT} \quad (4.4)$$

dimana: 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 (frekuensi)

Suhu adalah faktor yang cukup berperan untuk mempercepat laju reaksi. Penggunaan katalis juga diperlukan karena dapat mengurangi energi aktivasi. Faktor laju reaksi lebih berperan dalam optimasi proses pembuatan biodiesel.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini:

- a. Peningkatan *jet velocity* pada diameter *nozzle* yang konstan dapat meningkatkan *jet momentum* dan *turbulent kinetics energy*. Peningkatan rasio mol memengaruhi *kinematic viscosity*. Kedua hal ini mempercepat terjadinya pencampuran yang homogen, di mana kondisi homogen telah tercapai pada detik ke-13 dan 14 pada *jet column* sehingga reaksi dapat berjalan lebih awal.
- b. Reaktor *jet column* dengan *circular jet* mampu menghasilkan biodiesel pada reaksi nonkatalitik selama 60 menit dengan kecepatan jet 11 m/s pada rasio mol 4:1, 5:1, dan 6:1 sebesar 11,21%, 25,93%, dan 57,93%.
- c. Peristiwa terjadinya pencampuran yang homogen terjadi sangat cepat, sedangkan waktu yang dibutuhkan reaksi untuk menghasilkan *yield* biodiesel jauh berbeda. Dengan nilai Damkohler number yang sangat rendah ($Da \ll 1$), proses pencampuran yang dilakukan tidak dapat memengaruhi atau mengoptimalkan reaksi pembentukan produk biodiesel, tetapi hanya hanya membuat reaksi terjadi lebih awal, namun tidak memengaruhi laju kinetika reaksi.

5.2 Saran

Berikut ini adalah saran yang diperoleh dari penelitian ini:

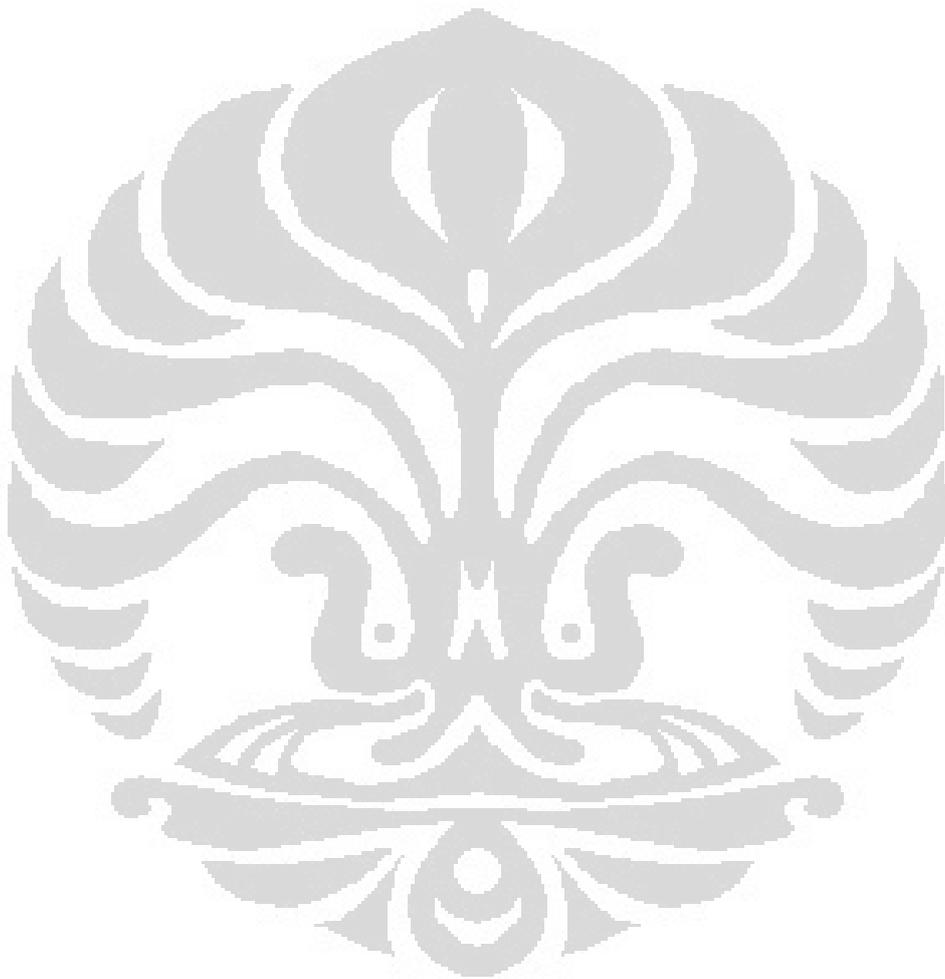
- a. Dalam penelitian ini, kualitas biodiesel yang dihasilkan dari reaktor jet column ini belum memiliki kualitas yang sangat baik jika ditinjau dari beberapa parameter, seperti kadar air, konversi trigliserida, dan yield biodieselnnya. Diperlukan pengembangan dari reaktor *jet column* mengingat potensi dan keunggulannya sebagai alat yang sederhana.
- b. Rekayasa yang perlu dilakukan untuk optimasi proses pembuatan biodiesel adalah penggunaan katalis dan pengondisian suhu sehingga dapat mempercepat laju kinetika reaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Baharta, R. (2005). *Pengolahan Minyak Goreng Bekas Pakai Menjadi Biodiesel sebagai Energi Alternatif*. Politeknik Negeri Lampung, Program Studi Mekanisasi Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian.
http://www.warintekjogja.com/warintek/warintekjogja/warintek_v3/datadigital/bk/biodiesel.pdf
- 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.
- Destianna, M., Zandy, A., Nazef, Puspitasari, S. (2007). *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*. Lomba Karya Ilmiah Mahasiswa ITB Bidang Energi, Penghargaan PT. Rekayasa Industri. Institut Teknologi Bandung. November 2007. www.migas-indonesia.com/pdf
- Evans, G. M. (1990). *A Study of a Plunging Jet Bubble Column*. University of Newcastle, Department of Chemical Engineering.
- Joshi, H. C. 2008. *Optimization and Characterization of Biodiesel Production Form Cottonseed and Canola Oil*. A Thesis Presented to Graduate School of Clemson University.
- Karnanim. (2010). *Sintesis Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Sawit Menggunakan Reaktor Jet Bubble Column*. Skripsi Program Sarjana. Universitas Indonesia, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik. July, 2010.
- Lee, Sheng-Yi & Tsui, Y. Pang (1999). *Succeed at Gas/Liquid Contacting. Gas/Liquid Contactors*. July 1999.
- Leung, D. Y. C & Guo, Y. (2006). *Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. Fuel Process Technol; 87:833-90.*
- Mathiyazhagan, M. & Ganapathi, A. (2011). *Factor Affecting Biodiesel Production*. Bharathidasan University, Department of Biotechnology. May 1, 2011.
www.resplantbiol.com
- McCormick, R. L., Williams, A., Ireland, J., Brimhall, M., & Hayes, R. R. (2006). *Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions. Fiscal Year 2006 Annual Operating Plan Milestone 10.4*. October 2006.
<http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/npbf/pdfs/40554.pdf>

- Neelamegam, P. & Krishnaraj, S. (2011). *Estimation of liquid viscosities of oils using associative neural networks*. Indian Journal of Chemical Technology Vol. 18, November 2011, pp. 463-468. October 7, 2011.
- Nosratinia, F., Omidkhah, M. R., Bastani, D., Saifkordi, & Akbar, A. (2010). *Investigation of Mass Transfer Coefficient under Jetting Conditions in a Liquid-Liquid Extraction System*. Iran J. Chem. Chem. Eng., Volume 29 No.1 2010.
- Nurhanjati, K. I. (2011). *Studi Hidrodinamika Jet Bubble Column yang Relevan Terhadap Peningkatan Kinetika Reaksi Biodiesel*. Skripsi Program Sarjana. Universitas Indonesia, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik.
- Rahayu, M. (2008). *Teknologi Proses Produksi Biodiesel. Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*. www.oocities.org/markal_bppt/publish/biofbbm/biraha.pdf
- Salewski, M., Stankovic, D., & Fuchs, L. (2007). *Mixing in Circular and Non-Circular Jets in Crossflow*. Lund University, Division Fluid Mechanics. September, 2007. http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:30168/datastreams/file_5739828/content
- 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.
- Setiadi, Tania, N., Hantizen, & Supramono, D. (2008b). *Studi Absorpsi CO₂ Menggunakan Kolom Gelembung Berpancaran Jet (Jet Bubble Column)*. *Makara, Teknologi, Volume 12, No.1*. April 2008:31-37. Universitas Indonesia, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik.
- Shah, S. I. A., Kostiuk, L. W., & Kresta, S. M. (2012). *The Effects of Mixing, Reaction Rates, and Stoichiometry on Yield for Mixing Sensitive Reactions, Part I : Model Development*. Hindawi Publishing Corporation. April 6, 2012.
- Supramono, D. & Setiadi (2011). *Pemanfaatan High Shear pada Jet Bubble Column untuk Meningkatkan Efisiensi Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO)*. Proposal Riset, Hibah Riset Strategis Nasional Tahun 2011. Universitas Indonesia, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik.
- 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, 2008. <http://pubs.acs.org>

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

Lampiran 1 Pengukuran Kadar Air

Kadar air diukur dengan menghitung selisih massa sampel sebelum dan sesudah pemanasan.

A. Reaksi nonkatalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Massa air (gram)	Massa sampel (gram)	Kadar air (%)
1	Rasio 4:1 60 menit	0,5141	57,7047	0,890915
2	Rasio 5:1 60 menit	0,3623	42,8747	0,84502
3	Rasio 6:1 20 menit	0,3491	40,8428	0,854741
4	Rasio 6:1 40 menit	0,2130	52,3051	0,407226
5	Rasio 6:1 60 menit	0,3846	48,0385	0,800608

B. Reaksi katalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Massa air (gram)	Massa sampel (gram)	Kadar air (%)
1	Rasio 6:1 60 menit	0,7794	43,2092	1,803783

Lampiran 2 Pengukuran Bilangan Asam

Pengukuran bilangan asam menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Bilangan asam} = \frac{\text{normalitas KOH} \times \text{volume titran KOH} \times \text{Mr KOH}}{\text{massa sampel}}$$

A. Reaksi nonkatalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Massa sampel (gram)	Volume titran KOH (mL)	Normalitas KOH (N)	Bilangan asam (mg KOH/g minyak)
1	Rasio 4:1 60 menit	4	0,1	0,1	0,140264
2	Rasio 5:1 60 menit	4	0,15	0,1	0,210396
3	Rasio 6:1 20 menit	4	0,1	0,1	0,140264
4	Rasio 6:1 40 menit	4	0,15	0,1	0,210396
5	Rasio 6:1 60 menit	4	0,15	0,1	0,210396

B. Reaksi katalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Massa sampel (gram)	Volume titran KOH (mL)	Normalitas KOH (N)	Bilangan asam (mg KOH/g minyak)
1	Rasio 6:1 60 menit	4	0,3	0,1	0,420792

Lampiran 3 Perhitungan Konversi Trigliserida

Perhitungan konversi trigliserida menggunakan persamaan:

$$\% \text{ konversi trigliserida} = \frac{A_{TG,t=0} - A_{TG,t=t}}{A_{T,G t=0}} \times 100\%$$

A. Reaksi nonkatalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Luas area trigliserida	% konversi trigliseida
1	Rasio 4:1 60 menit	681215	13,00
2	Rasio 5:1 60 menit	668761	14,59
3	Rasio 6:1 20 menit	638000	18,52
4	Rasio 6:1 40 menit	448905	42,67
5	Rasio 6:1 60 menit	264650	66,20

B. Reaksi katalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Luas area trigliserida	% konversi trigliseida
1	Rasio 6:1 60 menit	481435	38,52

Lampiran 4 Perhitungan Yield Biodiesel

Perhitungan *yield* biodiesel menggunakan persamaan:

$$\% \text{ yield biodiesel} = \frac{A_B}{A_B + A_{TG} + A_{DG} + A_{MG}} \times 100\%$$

A. Reaksi nonkatalitik

No.	Rasio mol & waktu reaksi	Yield biodiesel (%)
1	Rasio 4:1 60 menit	11,21
2	Rasio 5:1 60 menit	25,93
3	Rasio 6:1 20 menit	0,00
4	Rasio 6:1 40 menit	45,23
5	Rasio 6:1 60 menit	57,93

B. Reaksi katalitik

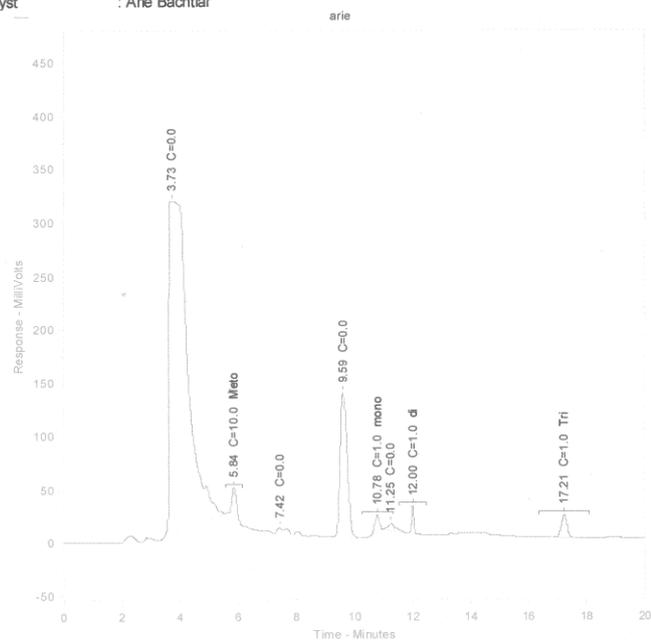
No.	Rasio mol & waktu reaksi	Yield biodiesel (%)
1	Rasio 6:1 60 menit	80,47

Lampiran 5 Data HPLC

A. Standar Biodiesel

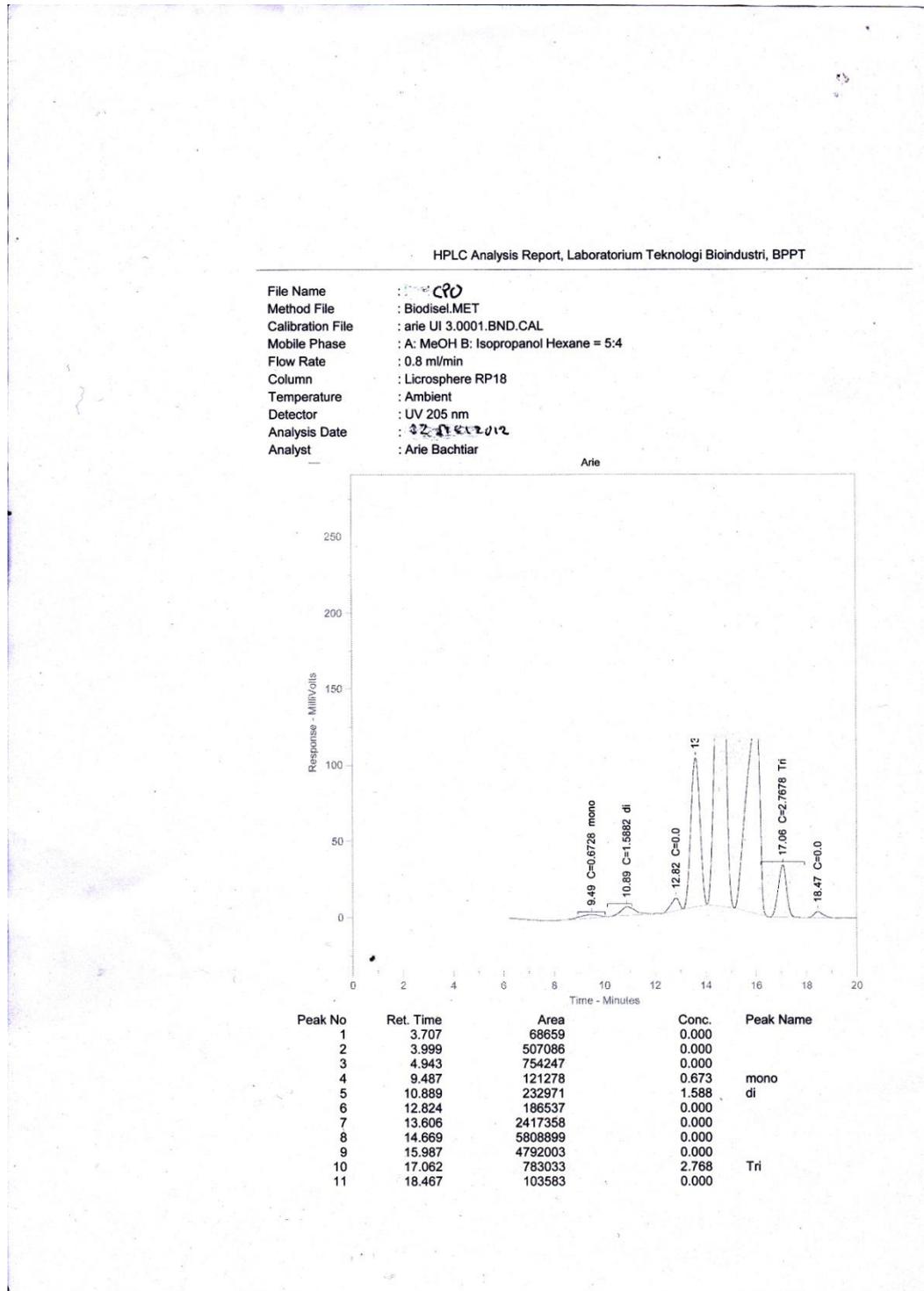
HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : Desi / standar
 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	3.729	14041570	0.000	
2	5.845	361909	10.000	Meto
3	7.425	124212	0.000	
4	9.595	2299722	0.000	
5	10.777	180245	1.000	mono
6	11.252	129195	0.000	
7	12.002	146687	1.000	di
8	17.213	282910	1.000	Tri

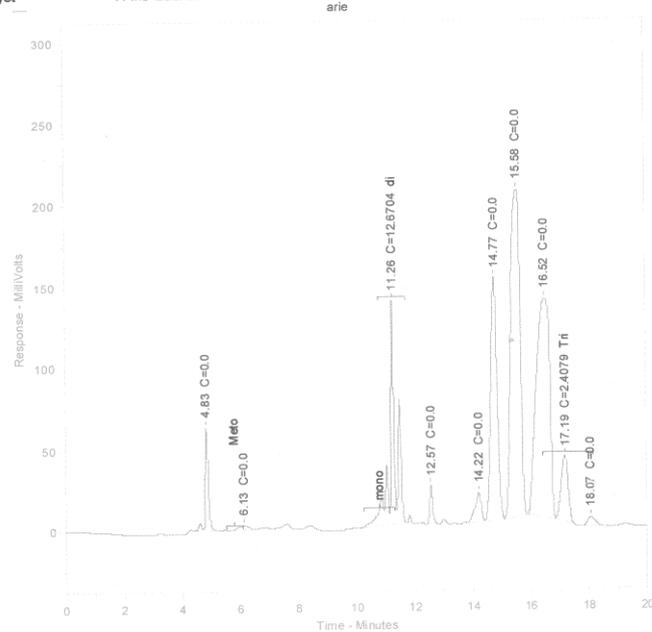
B. Standar CPO



C. Rasio 4:1 60 menit

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 Bachtiar

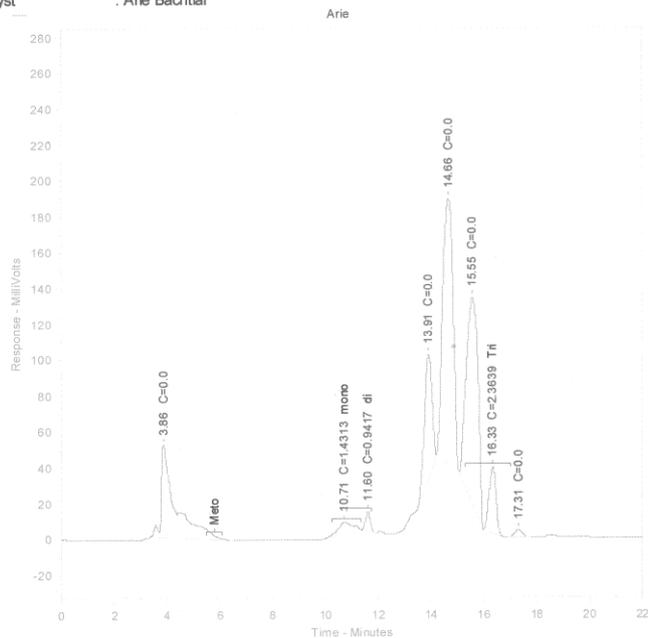


Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	4.835	425906	0.000	
2	6.132	58241	0.000	
3	11.260	1858586	12.670	di
4	12.568	176984	0.000	
5	14.216	257719	0.000	
6	14.772	2257836	0.000	
7	15.579	4495085	0.000	
8	16.524	4285756	0.000	
9	17.187	681215	2.408	Tri
10	18.074	97644	0.000	

D. Rasio 5:1 60 menit

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : Desi *IC*
 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 Bachtiar

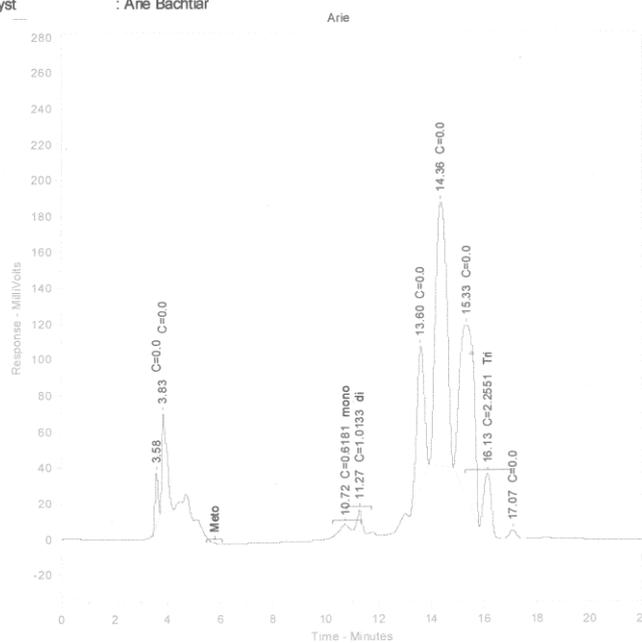


Peak No	Ret Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.855	1925580	0.000	
2	10.712	257992	1.431	mono
3	11.601	138130	0.942	di
4	13.907	1350698	0.000	
5	14.656	4041090	0.000	
6	15.554	3562422	0.000	
7	16.332	668761	2.364	Tri
8	17.307	87560	0.000	

E. Rasio 6:1 20 menit

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

File Name : Desi / D
 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 Bachtiar

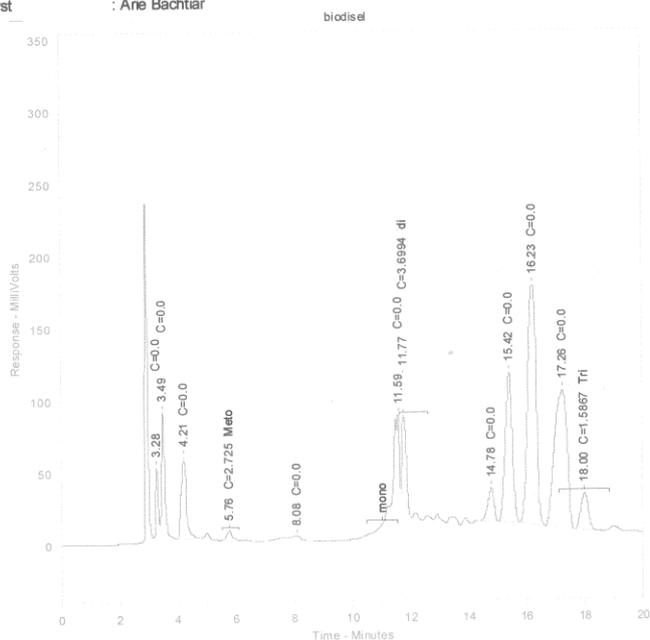


Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.582	220176	0.000	
2	3.835	760302	0.000	
3	10.723	111406	0.618	mono
4	11.275	148635	1.013	di
5	13.599	1535884	0.000	
6	14.356	4336317	0.000	
7	15.333	3675139	0.000	
8	16.132	638000	2.255	Tri
9	17.074	97387	0.000	

F. Rasio 6:1 40 menit

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 : Arie Bachtiar

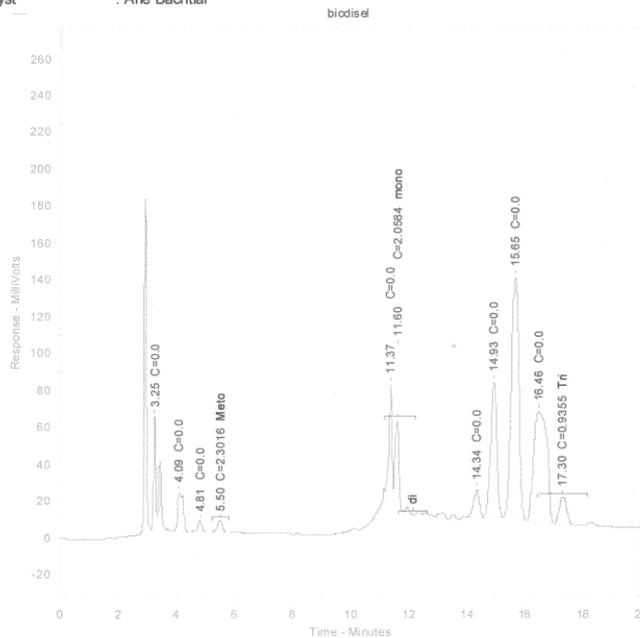


Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.277	216013	0.000	
2	3.488	506076	0.000	
3	4.208	683878	0.000	
4	5.763	98621	2.725	Meto
5	8.082	141750	0.000	
6	11.591	683422	0.000	
7	11.775	542650	3.699	di
8	14.784	340584	0.000	
9	15.415	1675896	0.000	
10	16.230	3318289	0.000	
11	17.257	2870751	0.000	
12	17.995	448905	1.587	Tri

G. Rasio 6:1 60 menit

HPLC Analysis Report, Laboratorium Teknologi Bioindustri, BPPT

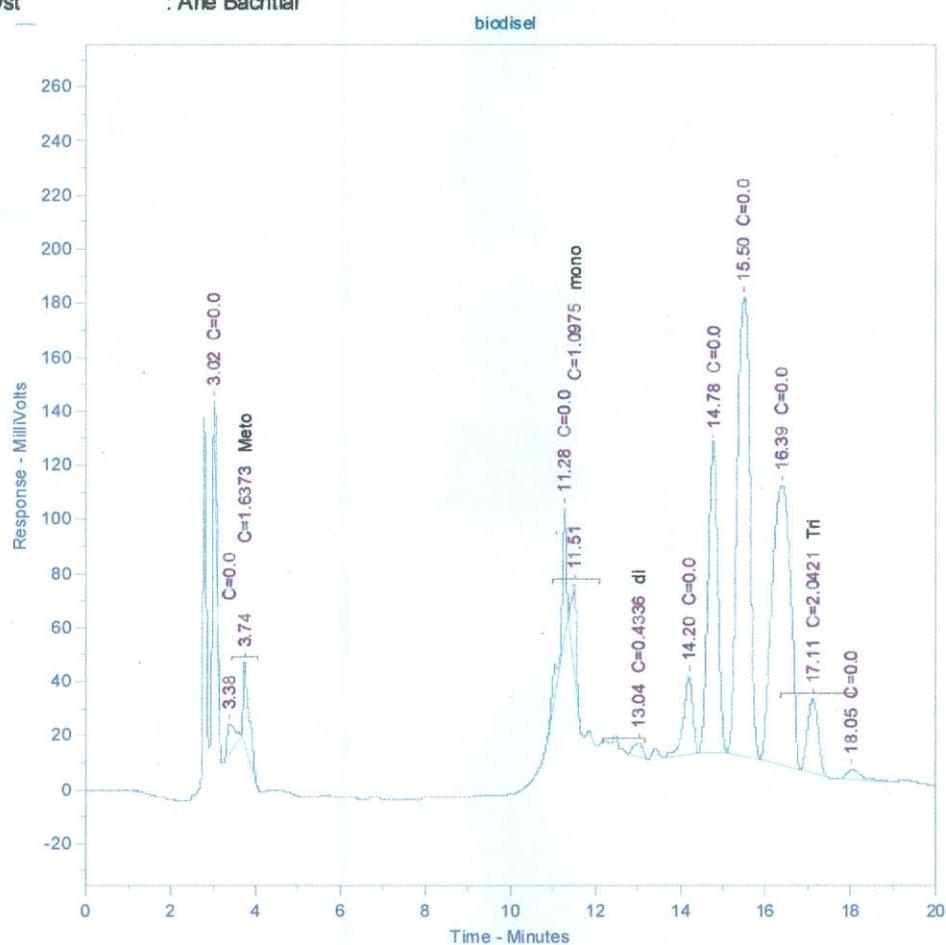
File Name : Desi / 8
 Method File : Biodisel.MET
 Calibration File : arie UI 3.0001.BND.CAL
 Mobile Phase : A: MeOH B: Isopropanol Hexane = 5:4
 Flow Rate : 0.8 ml/min
 Column : Licrosphere RP18
 Temperature : Ambient
 Detector : UV 205 nm
 Analysis Date : 30 April 2012
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.248	573779	0.000	
2	4.090	288113	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	14.926	1083263	0.000	
9	15.653	2419524	0.000	
10	16.456	1916794	0.000	
11	17.305	264650	0.935	Tri

H. Rasio 6:1 60 menit; reaksi katalitik

File Name : UI Ichwan
 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 : 12 Juni 2012
 Analyst : Arie Bachtiar



Peak No	Ret. Time	Area	Conc.	Peak Name
1	3.024	180814	0.000	
2	3.383	132438	0.000	
3	3.739	296268	1.637	Meto
4	11.280	377277	0.000	
5	11.512	247278	1.098	mono
6	13.037	79510	0.434	di
7	14.203	439012	0.000	
8	14.778	1844378	0.000	
9	15.499	3474125	0.000	
10	16.386	3149491	0.000	
11	17.112	481435	2.042	Tri
12	18.047	92651	0.000	

Lampiran 6 Grayscale Level pada Variasi Rasio Mol

A. Rasio mol 4:1

t = 1s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>	t = 14s	9	0.528104575
	0.5	0.006535948		9.5	0.466666667
	1	0.288888889		10	0.308496732
	1.5	0.049673203		Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>
	2	0.039215686		0.5	0.25
	2.5	0.024836601		1	0.38
	3	0.139869281		1.5	0.43
	3.5	0.481045752		2	0.45
	4	0.59869281		2.5	0.45
	4.5	0.524183007		3	0.47
	5	0.60130719		3.5	0.48
	5.5	0.532026144		4	0.5
	6	0.491503268		4.5	0.52
	6.5	0.616993464		5	0.55
	7	0.133333333		5.5	0.53
	7.5	0.074509804		6	0.55
	8	0.023529412		6.5	0.55
	8.5	0.074509804		7	0.57
	9	0.104575163		7.5	0.54
	9.5	0.137254902		8	0.55
10	0.048366013	8.5	0.59		
t = 13s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>	9	0.56	
	0.5	0.007843137	9.5	0.54	
	1	0.384313725	10	0.44	
	1.5	0.321568627	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>	
	2	0.350326797	0.5	0.28	
	2.5	0.465359477	1	0.43	
	3	0.393464052	1.5	0.44	
	3.5	0.316339869	2	0.45	
	4	0.483660131	2.5	0.45	
	4.5	0.469281046	3	0.46	
	5	0.504575163	3.5	0.48	
	5.5	0.499346405	4	0.49	
	6	0.521568627	4.5	0.5	
	6.5	0.496732026	5	0.52	
	7	0.452287582	5.5	0.53	
7.5	0.541176471	6	0.54		
8	0.495424837	6.5	0.56		
8.5	0.54379085	7	0.56		
t = 15s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>	t = 15s	0.5	0.28
	0.5	0.007843137		1	0.43
	1	0.384313725		1.5	0.44
	1.5	0.321568627		2	0.45
	2	0.350326797		2.5	0.45
	2.5	0.465359477		3	0.46
	3	0.393464052		3.5	0.48
	3.5	0.316339869		4	0.49
	4	0.483660131		4.5	0.5
	4.5	0.469281046		5	0.52
	5	0.504575163		5.5	0.53
	5.5	0.499346405		6	0.54
	6	0.521568627		6.5	0.56
	6.5	0.496732026		7	0.56
	7	0.452287582			

	7.5	0.56
	8	0.56
	8.5	0.57
	9	0.6
	9.5	0.58
	10	0.42

B. Rasio mol 5:1

	Jarak (cm)	Grayscale Level
t = 1s	0.5	0.282352941
	1	0.111111111
	1.5	0.041830065
	2	0.054901961
	2.5	0.030065359
	3	0.082352941
	3.5	0.512418301
	4	0.579084967
	4.5	0.603921569
	5	0.607843137
	5.5	0.606535948
	6	0.635294118
	6.5	0.652287582
	7	0.68627451
	7.5	0.556862745
	8	0.402614379
	t = 13s	8.5
9		0.069281046
9.5		0.147712418
10		0.118954248
0.5		0.003921569
1		0.275816993
1.5		0.328104575
2		0.460130719
2.5		0.436601307
3		0.396078431
3.5	0.481045752	
4	0.551633987	
4.5	0.559477124	
5	0.475816993	
5.5	0.624836601	
6	0.496732026	
6.5	0.569934641	

	7	0.554248366
	7.5	0.51503268
	8	0.490196078
	8.5	0.48496732
	9	0.397385621
	9.5	0.052287582
	10	0.002614379
t = 14s	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.33
	1	0.41
	1.5	0.43
	2	0.45
	2.5	0.47
	3	0.48
	3.5	0.5
	4	0.54
	4.5	0.58
	5	0.57
	5.5	0.56
	6	0.58
	6.5	0.58
	7	0.58
	7.5	0.59
	8	0.6
t = 15s	8.5	0.59
	9	0.58
	9.5	0.57
	10	0.56
	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.33
	1	0.42
	1.5	0.44
	2	0.45
	2.5	0.47
3	0.5	
3.5	0.51	
4	0.52	
4.5	0.54	
5	0.55	
5.5	0.55	
6	0.58	

	6.5	0.58
	7	0.58
	7.5	0.58
	8	0.59
	8.5	0.59
	9	0.57
	9.5	0.54
	10	0.55

C. Rasio mol 6:1, *jet velocity* 5m/s

	Jarak (cm)	Grayscale Level
t = 1s	0.5	0.007843137
	1	0.073202614
	1.5	0.040522876
	2	0.037908497
	2.5	0.048366013
	3	0.071895425
	3.5	0.062745098
	4	0.083660131
	4.5	0.152941176
	5	0.019607843
	5.5	0.158169935
	6	0.121568627
	6.5	0.094117647
	7	0.095424837
	7.5	0.037908497
	8	0.054901961
	8.5	0.040522876
9	0.030065359	
9.5	0.044444444	
10	0.116339869	
t = 13s	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.007843137
	1	0.120261438
	1.5	0.155555556
	2	0.248366013
	2.5	0.320261438
	3	0.504575163
	3.5	0.322875817
	4	0.40130719
	4.5	0.529411765
	5	0.379084967
5.5	0.526797386	

	6	0.518954248
	6.5	0.491503268
	7	0.590849673
	7.5	0.330718954
	8	0.413071895
	8.5	0.424836601
	9	0.320261438
	9.5	0.145098039
	10	0.235294118
t = 14s	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.17
	1	0.13
	1.5	0.27
	2	0.27
	2.5	0.28
	3	0.47
	3.5	0.48
	4	0.55
	4.5	0.54
	5	0.53
	5.5	0.55
	6	0.59
	6.5	0.6
	7	0.58
	7.5	0.5
	8	0.46
8.5	0.47	
9	0.41	
9.5	0.33	
10	0.11	
t = 15s	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.17
	1	0.28
	1.5	0.3
	2	0.32
	2.5	0.35
	3	0.36
	3.5	0.37
	4	0.38
	4.5	0.39
5	0.4	

	5.5	0.42
	6	0.42
	6.5	0.44
	7	0.45
	7.5	0.45
	8	0.45
	8.5	0.44
	9	0.43
	9.5	0.38
	10	0.35

	4.5	0.366013072
	5	0.364705882
	5.5	0.376470588
	6	0.376470588
	6.5	0.386928105
	7	0.384313725
	7.5	0.383006536
	8	0.376470588
	8.5	0.347712418
	9	0.349019608
	9.5	0.226143791
	10	0.179084967

D. Rasio mol 6:1, *jet velocity* 8m/s

	Jarak (cm)	Grayscale Level
t = 1s	0.5	0.047058824
	1	0.00130719
	1.5	0.044444444
	2	0.077124183
	2.5	0.278431373
	3	0.405228758
	3.5	0.422222222
	4	0.516339869
	4.5	0.326797386
	5	0.483660131
	5.5	0.473202614
	6	0.363398693
	6.5	0.453594771
	7	0.070588235
	7.5	0.135947712
	8	0.023529412
	8.5	0.002614379
9	0.005228758	
9.5	0.02875817	
10	0.019607843	
t = 13s	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.158169935
	1	0.278431373
	1.5	0.291503268
	2	0.312418301
	2.5	0.322875817
	3	0.330718954
	3.5	0.34379085
4	0.350326797	

	Jarak (cm)	Grayscale Level
t = 14s	0.5	0.13
	1	0.25
	1.5	0.29
	2	0.31
	2.5	0.33
	3	0.35
	3.5	0.35
	4	0.37
	4.5	0.39
	5	0.4
	5.5	0.4
	6	0.42
	6.5	0.42
	7	0.42
	7.5	0.41
	8	0.41
	8.5	0.41
9	0.42	
9.5	0.39	
10	0.37	
t = 15s	Jarak (cm)	Grayscale Level
	0.5	0.17
	1	0.28
	1.5	0.3
	2	0.32
	2.5	0.35
3	0.36	
3.5	0.37	
4	0.38	

	4.5	0.39
	5	0.4
	5.5	0.42
	6	0.42
	6.5	0.44
	7	0.45
	7.5	0.45
	8	0.45
	8.5	0.44
	9	0.43
	9.5	0.38
	10	0.35

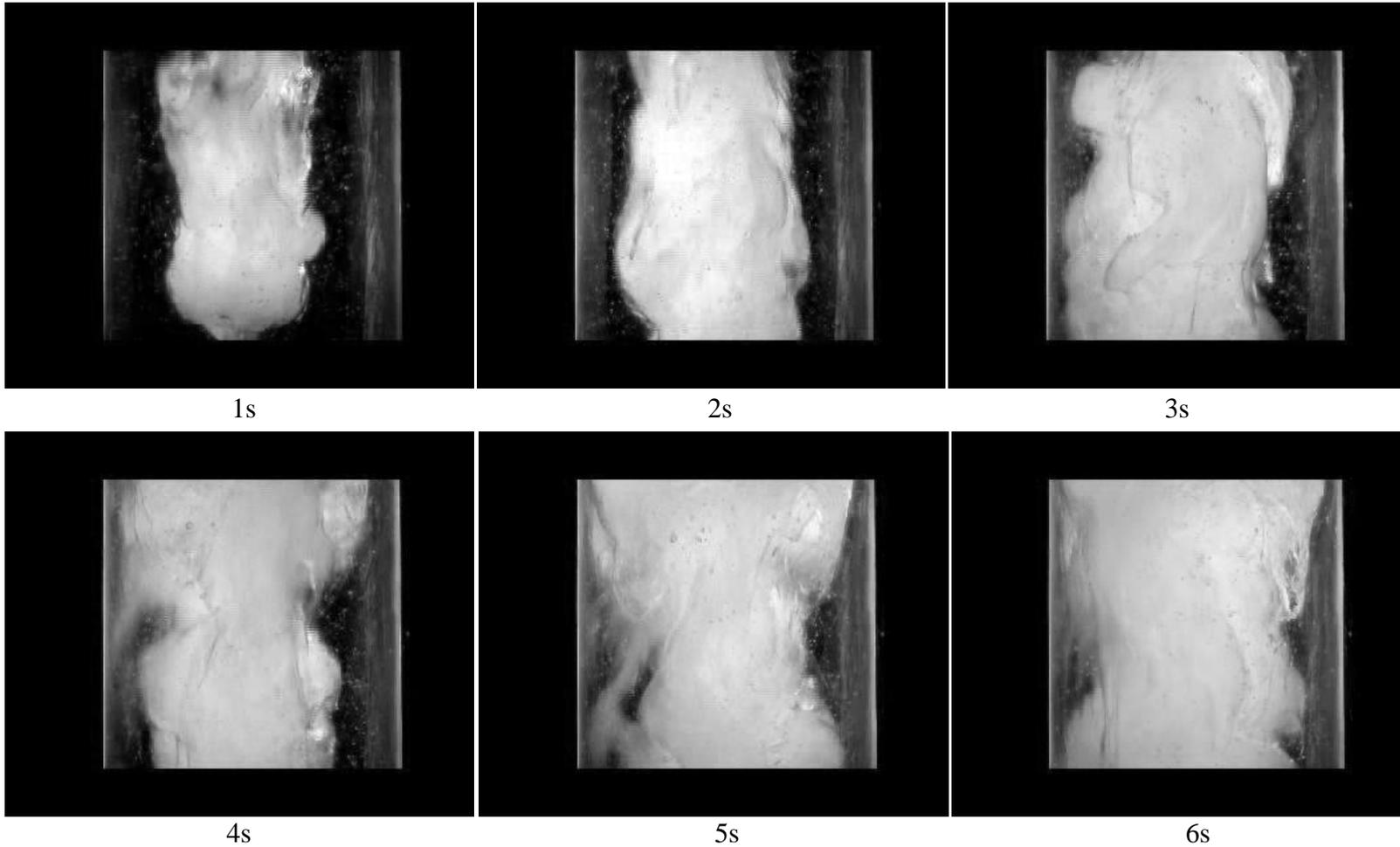
	3.5	0.439215686
	4	0.447058824
	4.5	0.449673203
	5	0.452287582
	5.5	0.464052288
	6	0.467973856
	6.5	0.467973856
	7	0.465359477
	7.5	0.458823529
	8	0.448366013
	8.5	0.444444444
	9	0.426143791
	9.5	0.414379085
	10	0.288888889

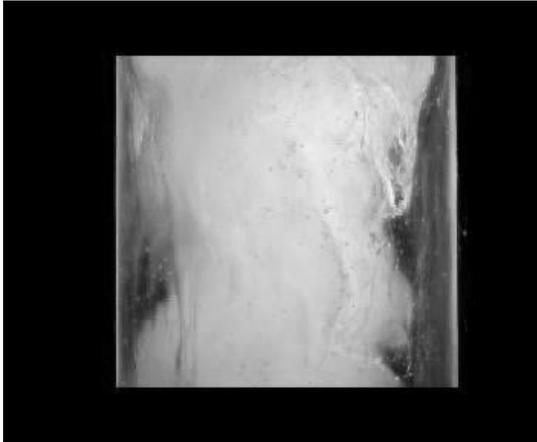
E. Rasio mol 6:1, *jet velocity* 11m/s

t = 1s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>
	0.5	0.08496732
	1	0.065359477
	1.5	0.037908497
	2	0.065359477
	2.5	0.375163399
	3	0.530718954
	3.5	0.520261438
	4	0.584313725
	4.5	0.593464052
	5	0.593464052
	5.5	0.562091503
	6	0.566013072
	6.5	0.545098039
	7	0.48627451
7.5	0.473202614	
8	0.067973856	
8.5	0.125490196	
9	0.090196078	
9.5	0.08496732	
10	0.081045752	
t = 13s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>
	0.5	0.230065359
	1	0.375163399
	1.5	0.403921569
	2	0.414379085
	2.5	0.422222222
3	0.432679739	

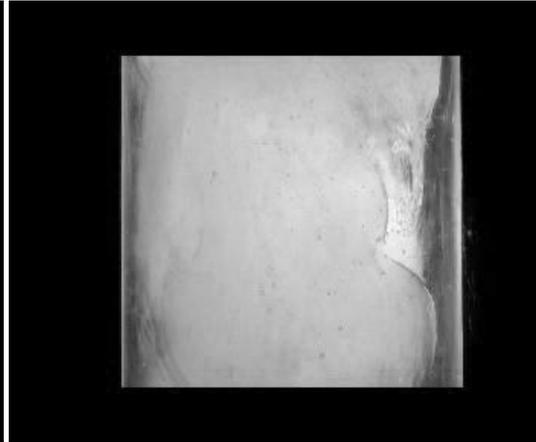
t = 14s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>
	0.5	0.3
	1	0.45
	1.5	0.46
	2	0.47
	2.5	0.48
	3	0.48
	3.5	0.48
	4	0.48
	4.5	0.49
	5	0.48
	5.5	0.48
	6	0.47
	6.5	0.46
	7	0.46
7.5	0.47	
8	0.47	
8.5	0.48	
9	0.49	
9.5	0.47	
10	0.46	
t = 15s	Jarak (cm)	<i>Grayscale Level</i>
	0.5	0.23
	1	0.45
	1.5	0.46
	2	0.47
2.5	0.47	

	3	0.48
	3.5	0.47
	4	0.47
	4.5	0.47
	5	0.47
	5.5	0.47
	6	0.46
	6.5	0.47
	7	0.48
	7.5	0.48
	8	0.49
	8.5	0.5
	9	0.5
	9.5	0.51
	10	0.51

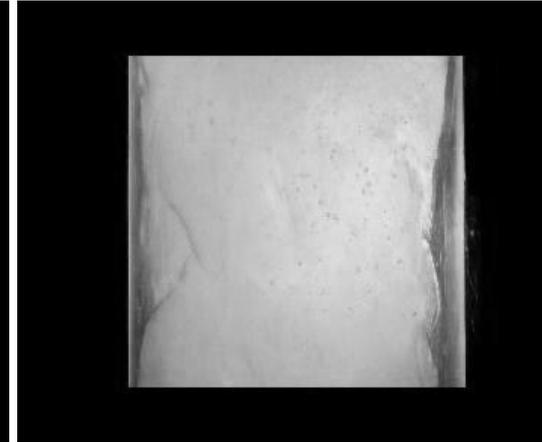
Lampiran 7 Pola Aliran pada Variasi Rasio Mol selama 12 detik pertamaA. Rasio mol 4:1 dengan $v = 11\text{m/s}$ 



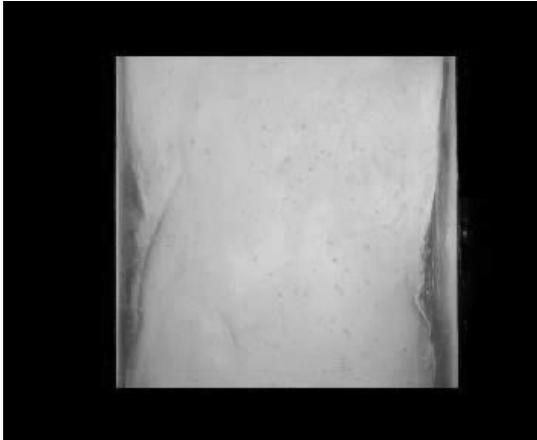
7s



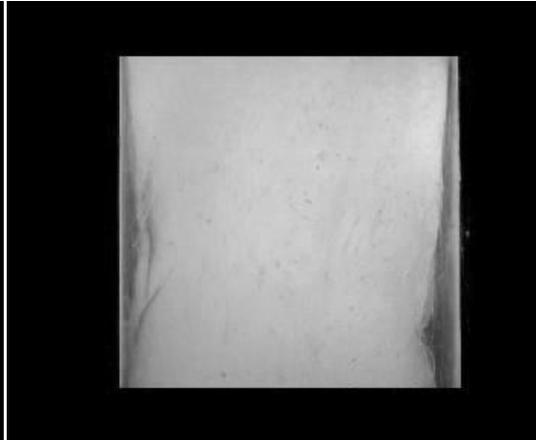
8s



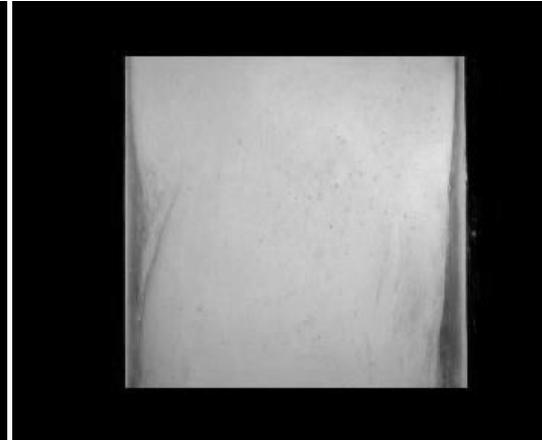
9s



10s

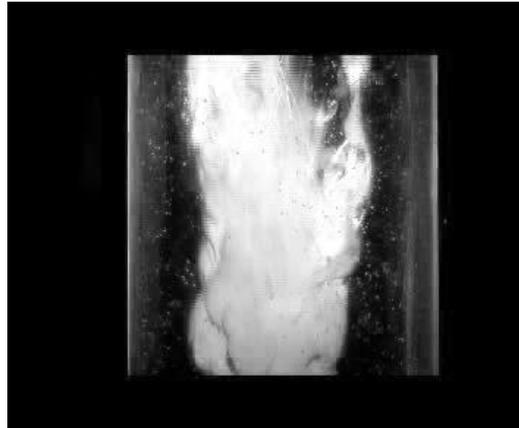


11s

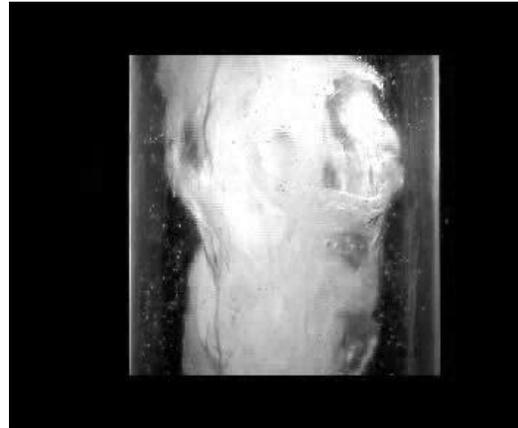


12s

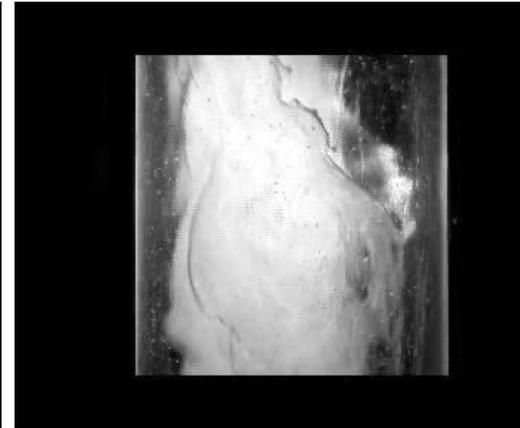
B. Rasio mol 5:1 dengan $v = 11\text{m/s}$



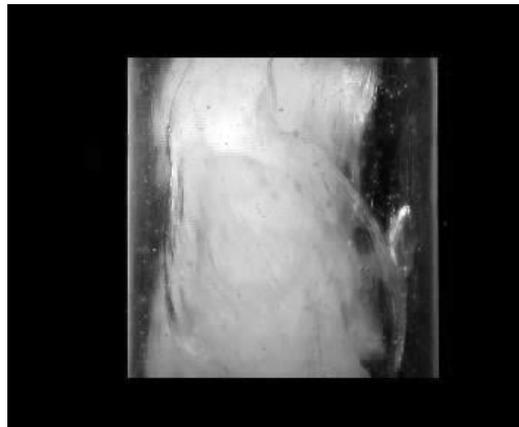
1s



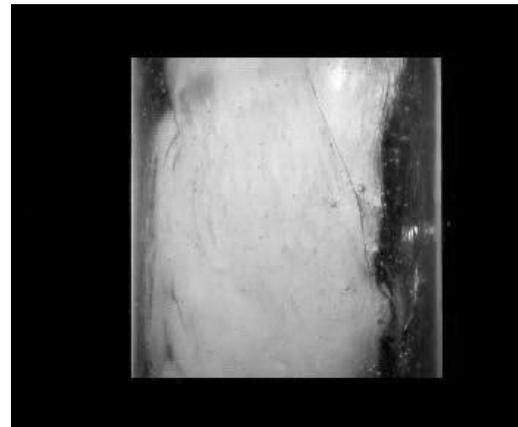
2s



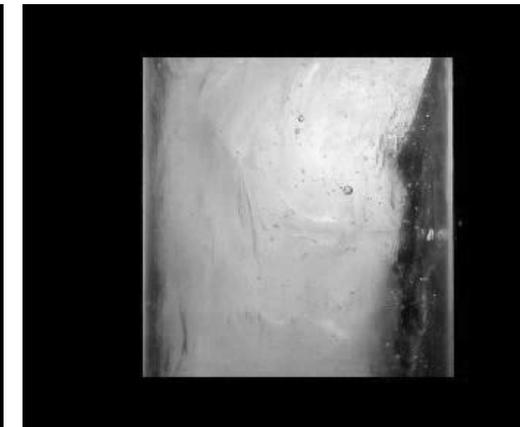
3s



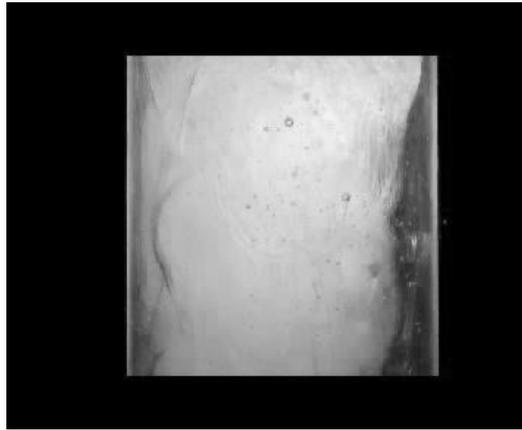
4s



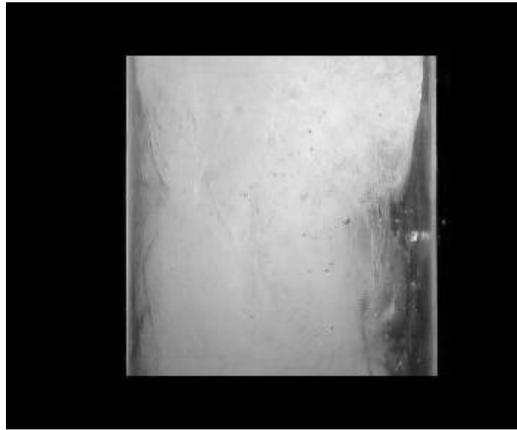
5s



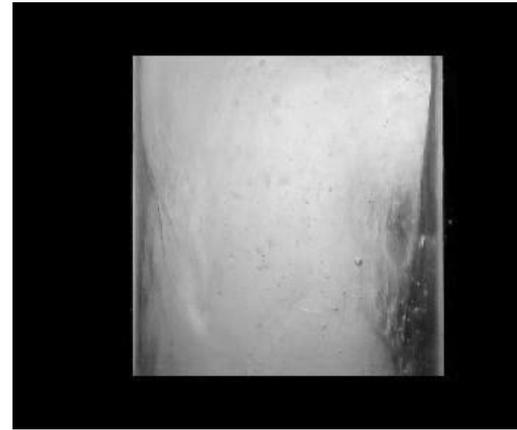
6s



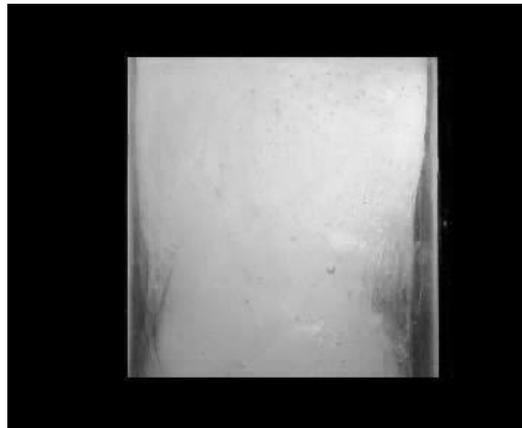
7s



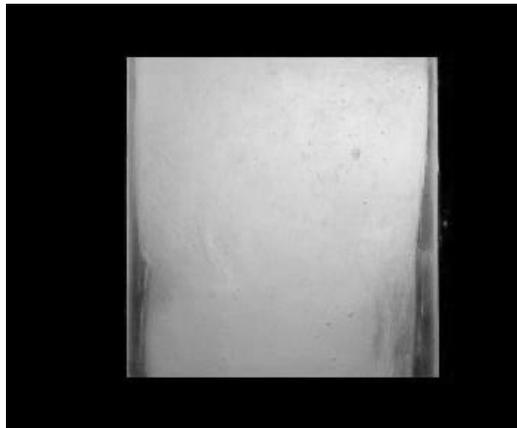
8s



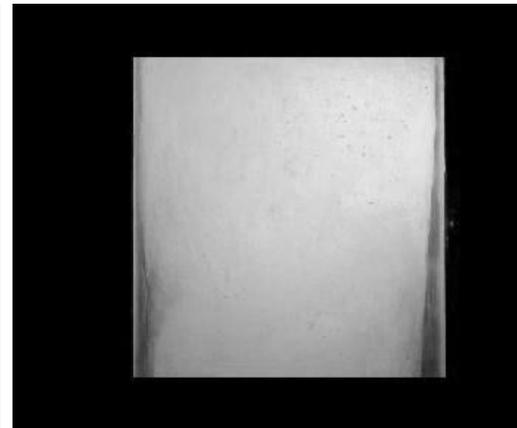
9s



10s

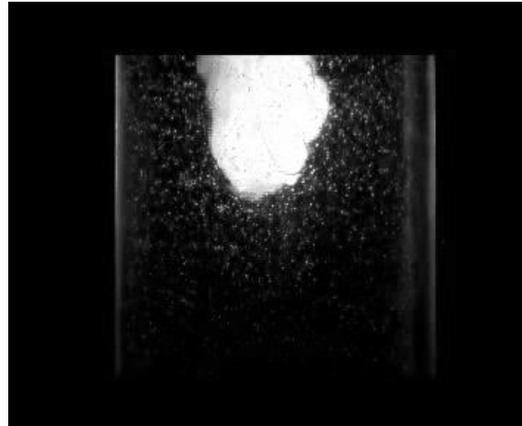


11s



12s

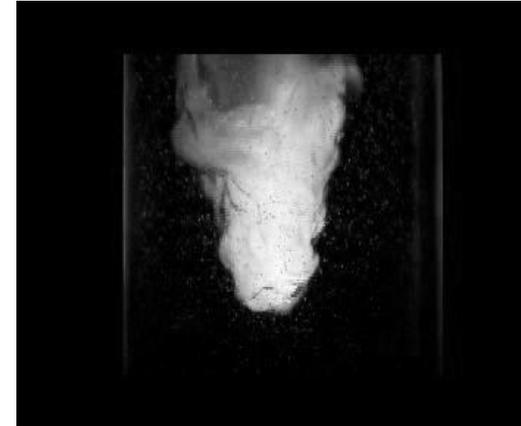
C. Rasio mol 6:1 dengan $v = 5\text{m/s}$



1s



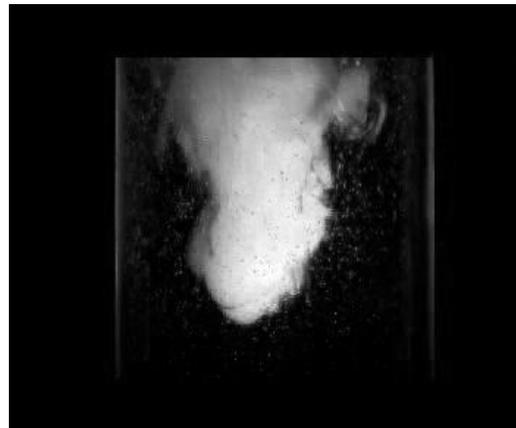
2s



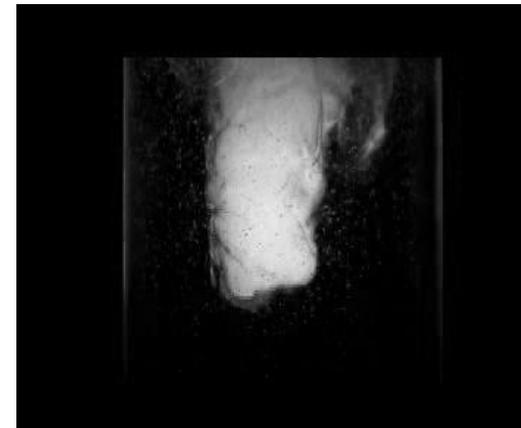
3s



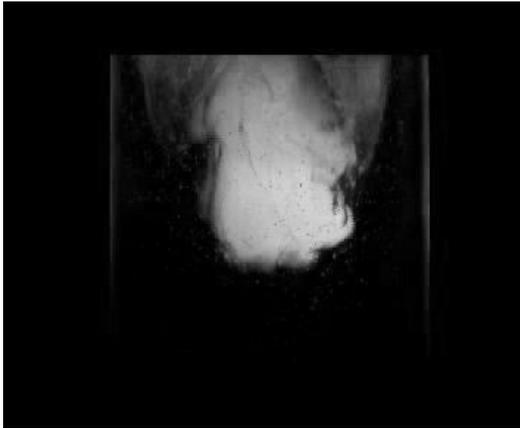
4s



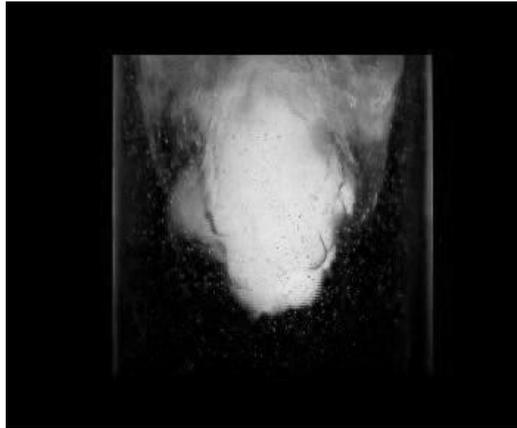
5s



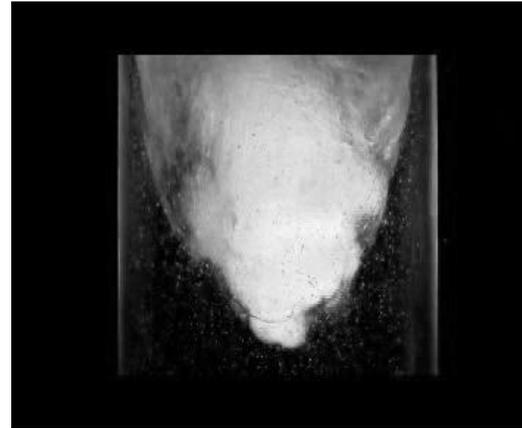
6s



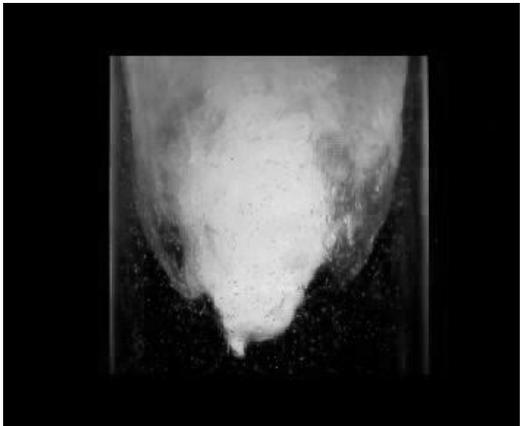
7s



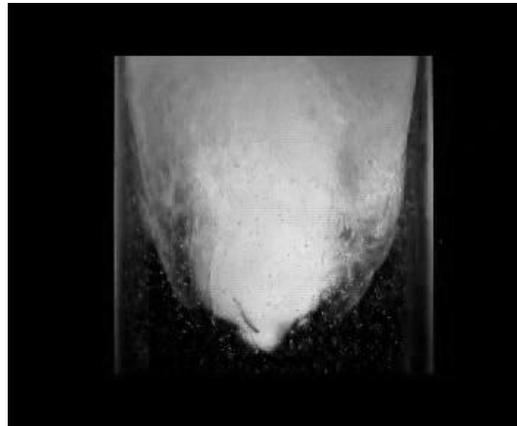
8s



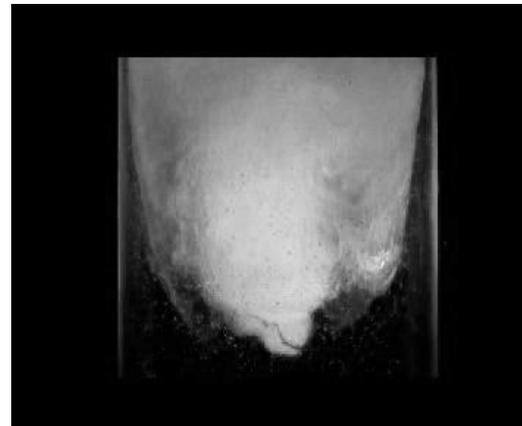
9s



10s

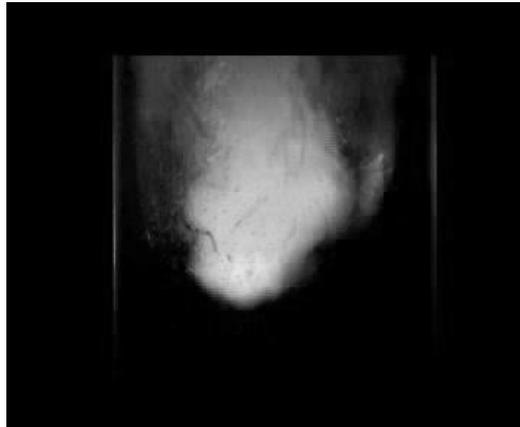


11s

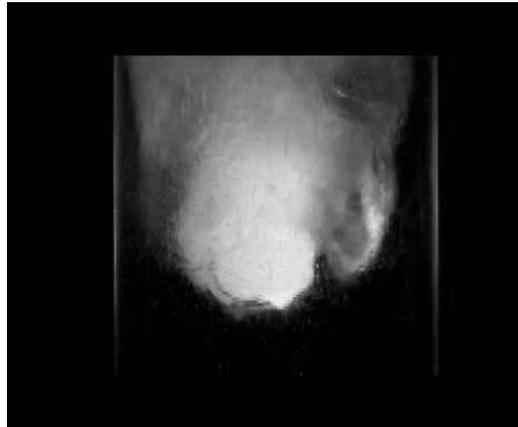


12s

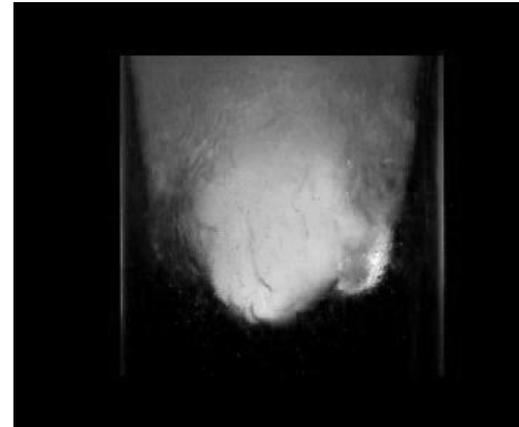
D. Rasio mol 6:1 dengan $v = 8\text{m/s}$



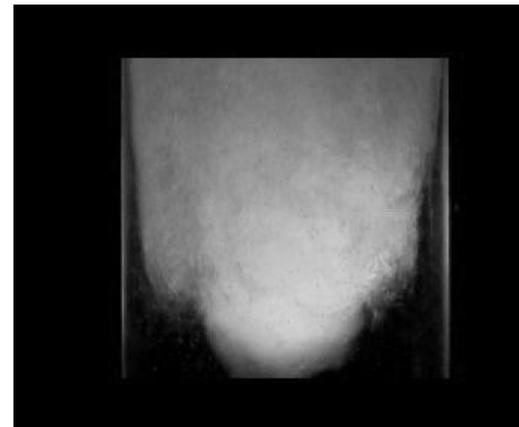
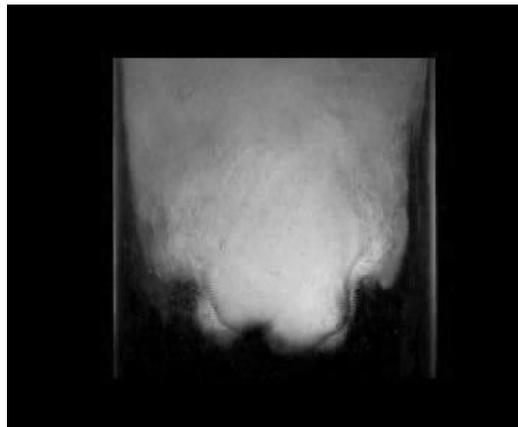
1s

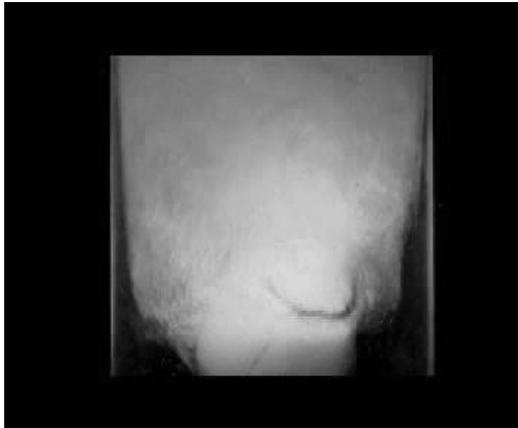


2s

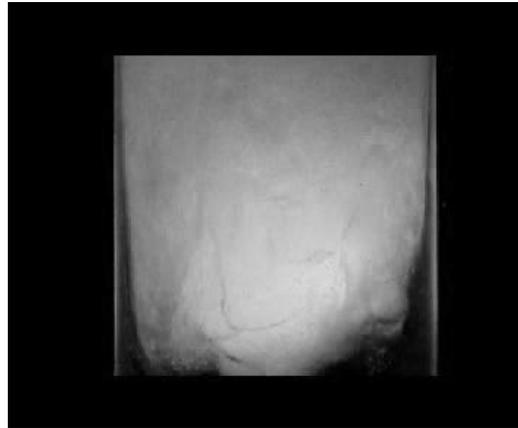


3s

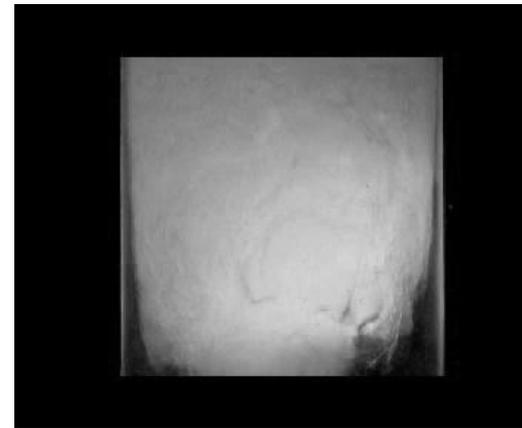




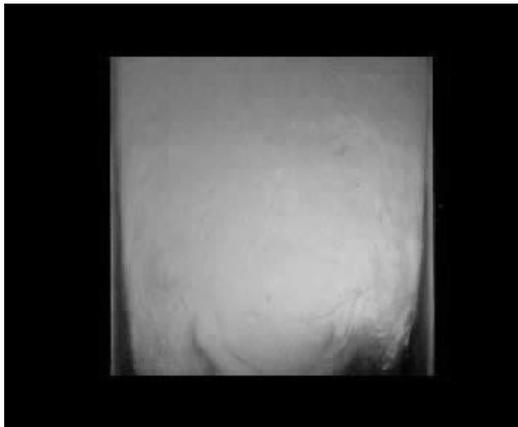
4s



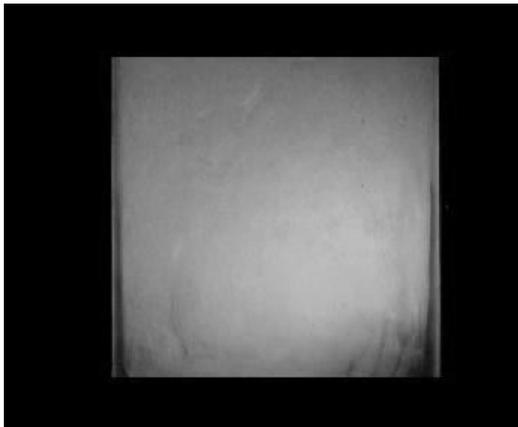
5s



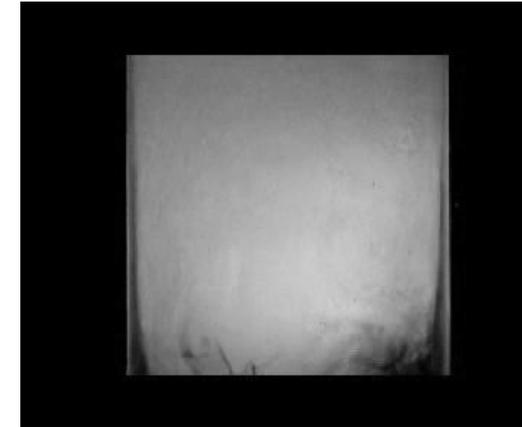
6s



10s



11s

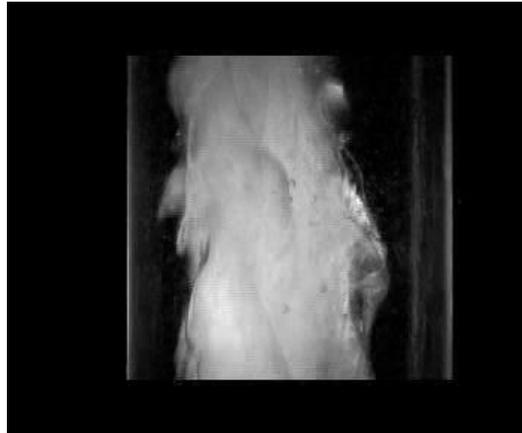


12s

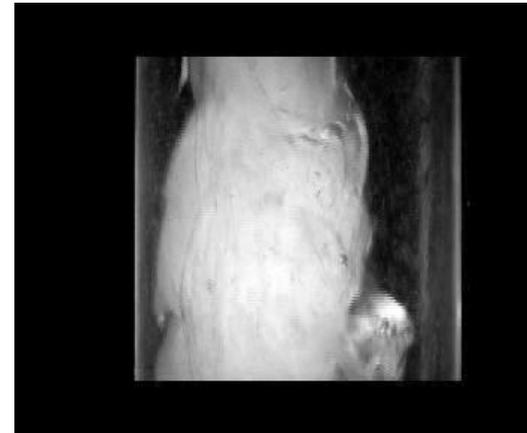
E. Rasio mol 6:1 dengan $v = 11\text{m/s}$



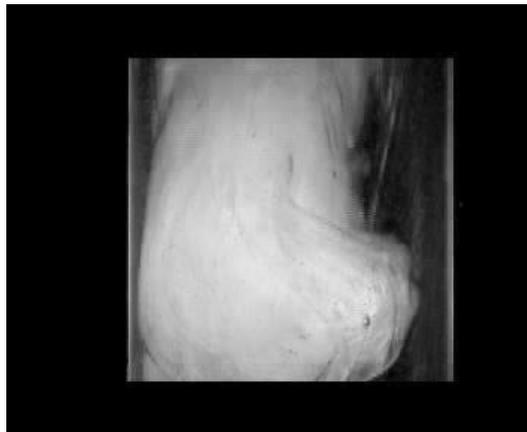
1s



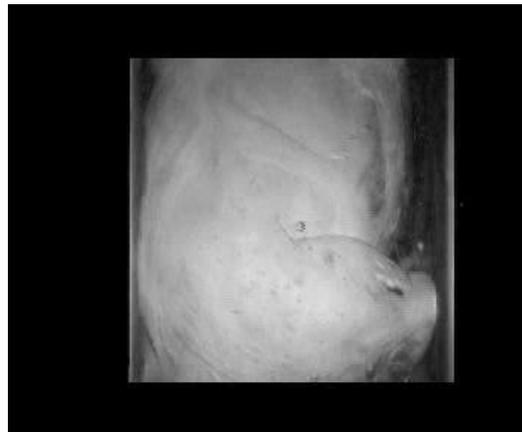
2s



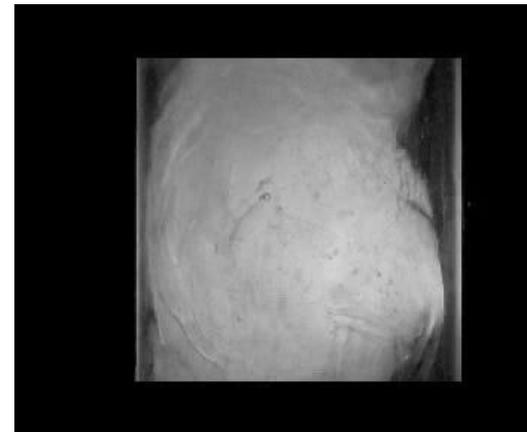
3s



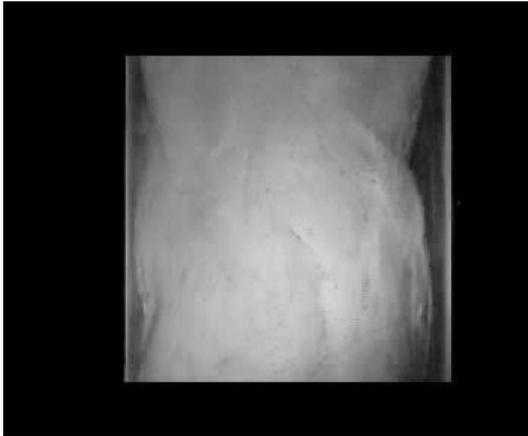
4s



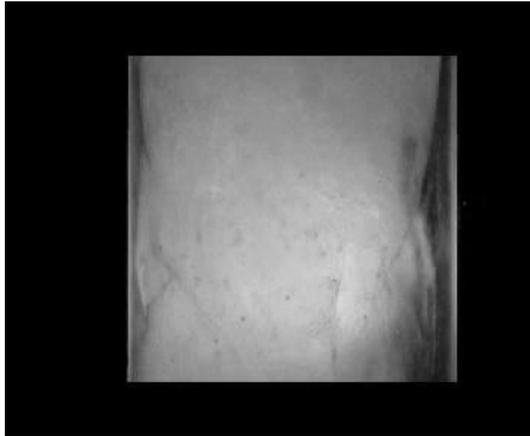
5s



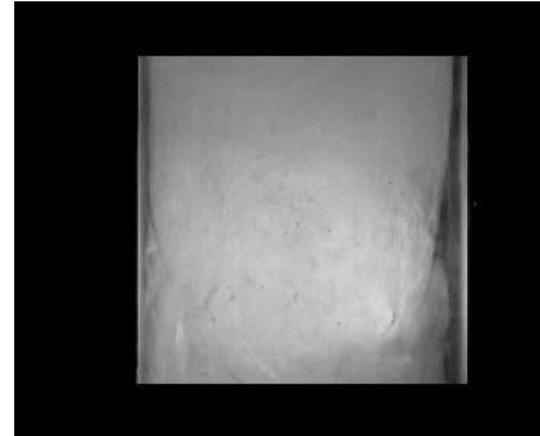
6s



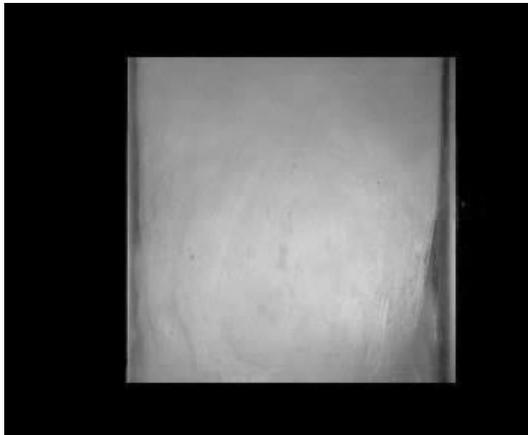
7s



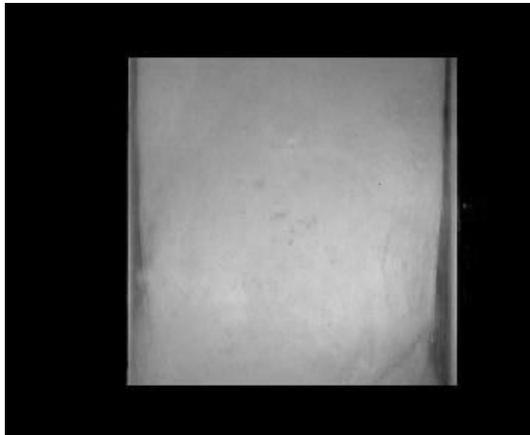
8s



9s



10s



11s



12s

Lampiran 8 Dokumentasi Kegiatan