



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI HIDRODINAMIKA *JET BUBBLE COLUMN* YANG  
RELEVAN TERHADAP PENINGKATAN KINETIKA REAKSI  
BIODIESEL**

**SKRIPSI**

**KRISHNA ISMIRA NURHANJATI**

**0806367973**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI HIRODINAMIKA *JET BUBBLE COLUMN* YANG  
RELEVAN TERHADAP PENINGKATAN KINETIKA REAKSI  
BIODIESEL**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik  
Kimia**

**KRISHNA ISMIRA NURHANJATI**

**0806367973**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JUNI 2011**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : Krishna Ismira Nurhanjati.**  
**NPM : 0806367973.**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 28 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Krishna Ismira Nurhanjati.

NPM : 0806367973.

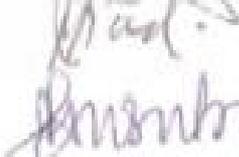
Program Studi : Teknik Kimia.

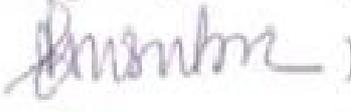
Judul Skripsi : Studi Hidrodinamika *Jet Bubble Column* Yang Relevan Terhadap Peningkatan Kinetika Reaksi Biodiesel.

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Dijan Supramono, M.Sc. (  )

Pembimbing II: Ir. Setiadi, M. Eng (  )

Penguji : Ir. Praswasti PDK Wulan, MT (  )

Penguji : Kamarza Mulia, PhD (  )

Penguji : Elsa Krisanti, PhD (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk melengkapi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Dijan Supramono, M.Sc selaku pembimbing I skripsi
2. Ir. Setiadi, M. Eng selaku pembimbing II skripsi.
3. Ir. Yuliusman, M. Eng selaku Koordinator Seminar Jurusan Teknik Kimia FTUI.
4. Prof . Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
5. Ir. Sukirno, M. Eng. Selaku Pembimbing Akademik.
6. Seluruh pihak Departemen Teknik Kimia dan Fakultas Teknik yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan.
7. Orang tua dan keluarga besar saya yang telah memberikan bantuan dukungan material maupun spiritual.
8. Teman-teman Ekstensi Teknik Kimia 2008, dan sahabat yang telah membantu, baik secara material maupun spiritual.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa Mnfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 28 Juni 2011

Krishna Ismira Nurhanjati

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

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

Nama : Krishna Ismira Nurhanjati.

NPM : 0806367973.

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:

“Studi Hidrodinamika *Jet Bubble Column* Yang Relevan Terhadap Peningkatan Kinetika Reaksi Biodiesel”.

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok.

Pada Tanggal : 28 Juni 2011.

Yang menyatakan

(Krishna Ismira Nurhanjati).

## ABSTRAK

Nama : Krishna Ismira Nurhanjati  
Program studi : Teknik Kimia  
Judul : Studi Hidrodinamika *Jet Bubble Column* Yang Relevan Terhadap Peningkatan Kinetika reaksi Biodiesel.

Sumber energi merupakan salah satu sektor penting dalam kehidupan, terutama dalam sektor bahan bakar. Oleh karena itu untuk mengatasi krisis bahan bakar diperlukan alternatif lain dari bahan terbarukan yaitu biodiesel. Penelitian ini memanfaatkan *high shear* (geseran fluida yang disebabkan gradien kecepatan yang tinggi) dalam campuran dengan menumbukkan jet fluida dari nosel secara vertikal ke campuran reaksi dalam kolom untuk memperkuat pengadukan campuran dan memperoleh konversi biodiesel yang tinggi.

Pada penelitian ini akan di uji hidrodinamika untuk mengetahui *velocity gradient*. Proses ini direalisasikan dengan menggunakan reaktor kolom gelembung pancaran (*jet bubble column reactor*) dan komponen tambahan seperti laser, lensa plano konkaf dan *glass beads* untuk pengujian dengan metode *particel image velocity (PIV)*. Dalam mensimulasi reaksi biodiesel fluida yang digunakan (campuran air dan gliserol) memiliki rasio mol setara dengan rasio mol metanol/CPO 6:1 hingga 4:1 dan kecepatan jet 3,7 m/s hingga 7,7 m/s. Pada penelitian ini, data yang diambil berupa video dan *image calibrasi* dengan menggunakan kamera *high speed* 800fps selama 5 detik dan kemudian diolah dengan menggunakan *software Virtualdub* (untuk memecah gambar), *PIVView 1,7* (untuk menghitung kecepatan dan *shear/velocity gradient*) dan *Tecplot* (untuk mempresentasikan kontur kecepatan dan shear pada bidang pengambilan gambar).

Hasil penelitian menunjukkan jika kecepatan jet semakin diperbesar, *shear* semakin besar. Oleh karena itu pencampuran yang terjadi semakin besar (*high mixing*). Jika rasio mol makin diperbesar, *shear* semakin besar pula. Dari aspek hidrodinamika yang telah dilakukan, dapat dinyatakan bahwa *shear* berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa. Semakin tinggi koefisien perpindahan massa semakin tinggi pula perpindahan massa yang terjadi. Oleh karena itu *shear* yang terjadi semakin besar (*high shears*). Dari aspek hidrodinamika, fluida yang memberikan efek keteraturan, nilai *shears* yang baik di setiap kecepatan jet yang memberikan *shear* terbesar yaitu pada fluida yang memiliki rasio mol paling besar.

**Kata kunci:** Biodiesel, *jet bubble column reactor*, *shear*/gradien kecepatan, perpindahan massa, PIV (*Particel Image velocity*).

## ABSTRACT

Name : Krishna Ismira Nurhanjati  
Study Program: Chemical Engineer  
Title : Jet Bubble Column Hydrodynamics Studies Relevant  
To improving the reaction kinetics of biodiesel.

Energy source is one of the important sectors of life, especially in the fuel sector. Therefore, to solve the fuel crisis an alternative materials that renewable biodiesel is needed. This study utilizing high shear (shear fluid caused a high velocity gradient) in a mixture with a pound of fluid jet from nozzle vertically into the reaction mixture in the column to reinforce the stirring mixture and obtain a high conversion biodiesel.

In this study will be tested to determine the hydrodynamic velocity gradient. This process is realized using a jet bubble column reactors and additional components such as lasers, plan concave lenses and glass beads for testing by the method particle image velocity (PIV). In reaction to simulate the fluid used biodiesel (a mixture of water and glycerol) has a mole ratio of the equivalent mole ratio of methanol/CPO 6:1 to 4:1 and the jet velocity 3.7 m/s to 7.7 m/s. In this study, data taken in the form of video and image calibration using the camera 800 fps high speed for 5 seconds and then processed using VirtualDub software (for split images), PIVView 1.7 (to calculate the velocity and shear / velocity gradient) and Tecplot (to present the contours of velocity and shear in the field of shooting).

The results show increasingly magnified if the jet velocity, shear increases. Therefore it becomes high mixing. If the mole ratio increases, the shears increases also. From the aspect of hydrodynamics that has been done, it can be concluded that shear is directly proportional to the mass transfer coefficient. The higher the mass transfer coefficient the higher the mass transfer occurs. Therefore it becomes high shears. From the aspect of hydrodynamics, the fluid which gives the effect of regularity, Shears good value at each jet velocity that provide the greatest shear in the fluid that has a mole ratio of at most.

**Key words:** Biodiesel, jet bubble column reactor, shear / velocity gradient, mass transfer, PIV (Particle Image velocity).

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Biodiesel.....	7
2.1.1 Bahan Baku dan Proses Pembuatan Biodiesel.....	9
2.2 Gliserol.....	15
2.3 Reaktor Jet Bubble Column.....	17
2.4 Keutamaan Jet Bubble Colum.....	20
2.5 Studi Hidrodinamika pada Jet Bubble Column.....	21
2.6 Particel Image Velocity (PIV).....	24
2.7 Lensa.....	26
2.8 Penelitian yang berkaitan.....	27
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Pendahuluan.....	29
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.3 Skema Alat.....	30
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	32
3.5 Prosedur Penelitian.....	33
3.5.1 Persiapan Awal.....	33
3.5.2 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	33
3.5.3 Persiapan Uji Operasi.....	34
3.5.4 Pengoperasian Rangkaian Alat.....	34
3.6 Pengambilan Sampel dan Analisa Data.....	35



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1.1 Porsi konsumsi minyak solar sektor transportasi 1995-2010.....	1
2.1 Persyaratan kualitas biodiesel menurut SNI-04-7182-2006.....	8
2.2 Beberapa sumber minyak nabati yang potensial sebagai bahan baku biodiesel.....	9
2.3 Tanaman penghasil minyak nabati serta produktifitasnya .....	11
2.4 <i>Physical Properties</i> dari Gliserol (Knothe, et al. 2005).....	16
4.2.1 Shear maksimum pada kecepatan jet tertentu untuk area pengukuran yang berbeda.....	57
4.2.2 Shear maksimum pada Fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO dan kecepatan jet tertentu untuk area yang berbeda .....	59

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	Halaman
1.1 Kurva produksi, konsumsi CPO untuk industri dan kebutuhan pangan di Indonesia ( <a href="http://www.indexmundi.com">www.indexmundi.com</a> ).....	2
2.1 Struktur molekul monogliserida, digliserida dan trigliserida.....	12
2.2 Struktur molekul asam lemak bebas.....	13
2.3 Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester.....	14
2.4 Reaksi transesterifikasi dari trigliserida menjadi ester metil asam-asam lemak.....	14
2.5 Tahapan reaksi transesterifikasi.....	15
2.6 Definisi daerah hidrodinamik di dalam daerah downcomer pada alat kolom gelembung pancaran. (Evans, 1990).....	18
2.7 Jenis-jenis kolom gelembung (Lee dan Tsui, 1998).....	18
2.8 Tiga Jenis Aliran Utama pada Kolom Gelembung Pancaran (Lee dan Tsui, 1998).....	19
2.9 Skema Perangkat Penunjang PIV ( <a href="http://www.piv.de/piv/index.php">www.piv.de/piv/index.php</a> ).....	25
2.10 Bentuk-Bentuk Lensa ( <a href="http://id.wikipedia.org/lensa cekung-cembung">http://id.wikipedia.org/lensa cekung-cembung</a> ).....	27
3.1 Diagram alir penelitian.....	30
3.2 Skema Alat Kolom Gelembung Pancaran .....	31
3.3 Skema PIV.....	32
4.1 Daerah Pengambilan sampel dan kordinat titik Pengukuran.....	41
4.2.1 Hasil analisa <i>shear</i> (1/detik) Area A (dekat dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1 dengan koordinat titik (20,157.5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3.7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6.5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7.7 m/detik dengan metode <i>Particel Image Velocity</i> (PIV).....	44
4.2.2 Hasil analisa <i>shear</i> (1/detik) Area A (dekat dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1 dengan koordinat titik	

	(20,157.5) mm. (a) untuk kecepatan jet (v)= 3.7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet (v)= 6.5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet (v)= 7.7 m/detik dengan metode <i>Particel Image Velocity</i> (PIV).....	47
4.2.3	Hasil analisa <i>shear</i> (1/detik) Area A (dekat dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1 dengan koordinat titik (20,157.5) mm. (a) untuk kecepatan jet (v)= 3.7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet (v)= 6.5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet (v)= 7.7 m/detik dengan metode <i>Particel Image Velocity</i> (PIV).....	49
4.2.4	Hasil analisa <i>shear</i> (1/detik) Area B (Jauh dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1 dengan koordinat titik (20, -7.5) mm. (a) untuk kecepatan jet (v)= 3.7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet (v)= 6.5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet (v)= 7.7 m/detik dengan metode <i>Particel Image Velocity</i> (PIV).....	52
4.2.5	Hasil analisa <i>shear</i> (1/detik) Area B (Jauh dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1 dengan koordinat titik (20, -7.5) mm. (a) untuk kecepatan jet (v)= 3.7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet (v)= 6.5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet (v)= 7.7 m/detik dengan metode <i>Particel Image Velocity</i> (PIV).....	54
4.2.6	Hasil analisa <i>shear</i> (1/detik) Area B (Jauh dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1 dengan koordinat titik (20, -7.5) mm. (a) untuk kecepatan jet (v)= 3.7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet (v)= 6.5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet (v)= 7.7 m/detik dengan metode <i>Particel Image Velocity</i> (PIV).....	57
4.2.7	Garfik Hubungan Kecepatan Jet (m/detik) vs Harga Shear Maksimum (1/detik) pada Kolom Gelembung Pancaran dengan Metode PIV...	58
4.2.8	Grafik Hubungan Fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO Rasio vs Shear Maksimum (1/detik) pada Kolom Gelembung Pancaran dengan Metode PIV.....	60

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Bahan bakar minyak adalah sumber energi yang konsumsinya terbanyak saat ini di dunia dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Banyak negara, termasuk Indonesia, mengalami masalah kekurangan bahan bakar minyak dan mengimpor bahan bakar minyak terutama bahan bakar diesel dalam jumlah yang cukup besar. Data konsumsi minyak diesel Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1. Stok minyak mentah yang berasal dari fosil ini terus menurun sedangkan konsumsinya terus meningkat setiap tahunnya, sehingga perlu dicari alternatif bahan bakar lain, terutama dari bahan yang terbarukan (Zandy dkk. 2007).

Salah satu alternatif untuk menggantikan diesel adalah biodiesel.

**Tabel 1.1** Porsi konsumsi minyak diesel sektor transportasi 1995-2010

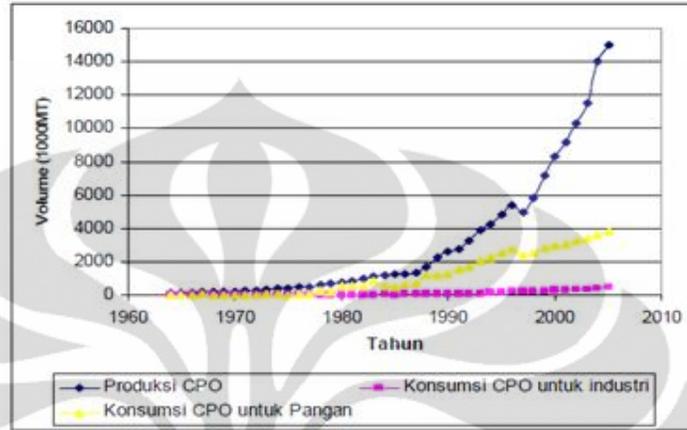
Tahun		1995	2000	2005	2010
<b>Transportasi</b>	Milyar liter	6,91	9,69	13,12	18,14
<b>Total</b>	Milyar liter	15,84	21,39	27,05	34,71
<b>Porsi</b>	%	43,62	45,29	48,50	52,27

Sumber: Zandy dkk., 2007.

Biodiesel secara umum adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan terbarukan dan secara khusus merupakan bahan bakar mesin diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati, minyak hewani atau minyak goreng bekas/daur ulang. Beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, dan nyamplung.

Dari beberapa bahan baku tersebut di Indonesia yang punya prospek untuk diolah menjadi biodiesel adalah kelapa sawit dan jarak pagar. Prospek kelapa sawit lebih besar untuk pengolahan secara besar-besaran. Sebagai tanaman industri kelapa sawit telah tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia dan teknologi pengolahannya sudah mapan. Oleh sebab itu minyak mentah kelapa sawit (*crude palm oil* atau *CPO*) dapat dikatakan sebagai bahan baku biodiesel yang berpotensi lebih besar di Indonesia dan lebih siap walaupun pada masa

depan kemungkinan akan terjadi kompetisi penggunaannya untuk makanan dan sebagai sumber daya energi. Jumlah produksi dan konsumsi *CPO* di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1. (Zandy dkk. 2007).



**Gambar 1.1.** Kurva produksi, konsumsi CPO untuk industri dan kebutuhan pangan di Indonesia (Zandy dkk. 2007).

Sedangkan untuk tanaman yang lain seperti kedelai, bunga matahari, jarak pagar yang masih mempunyai kelemahan antara lain sumbernya sangat terbatas dan masih diimpor (kedelai & bunga matahari), masih dalam taraf penelitian skala laboratorium untuk budidaya dan pengolahannya (jarak pagar).

Biodiesel diharapkan dapat menggantikan minyak diesel sebagai bahan dasar mesin diesel. Keuntungan-keuntungan dari biodiesel adalah angka setannya lebih tinggi dari angka setana minyak diesel, gas buang hasil pembakaran biodiesel lebih ramah lingkungan karena hampir tidak mengandung gas  $SO_x$ , dan menggunakan bahan baku biomassa sehingga mengurangi akumulasi gas  $CO_2$  di atmosfer.

Selain itu aspek strategis penting lainnya dalam pengembangan biodiesel adalah tersedianya teknologi proses yang ekonomis. Saat ini pemegang lisensi teknologi proses pembuatan biodiesel adalah Lurgi Process. Namun bila diamati masih banyak kelemahan dalam teknologi proses yang sudah ada, seperti

1. Tingginya rasio mol umpan alkohol terhadap minyak bahan baku yang mengakibatkan tambahan biaya pemisahan kelebihan alkohol.
2. Kekentalan minyak bahan baku yang tinggi yang menyebabkan sulitnya pertemuan antara molekul minyak dan alkohol sehingga reaksinya berjalan

kurang sempurna. Untuk mengatasinya reaktor memerlukan sistem pengadukan berdaya tinggi untuk mendapatkan reaksi yang sempurna.

3. Tingginya suhu reaksi yang digunakan (sekitar 120°C) untuk meningkatkan mobilitas minyak bahan baku. Tetapi rendahnya titik didih methanol (60°C) atau etanol sebagai reaktan menyebabkan reaktan tersebut mudah berubah ke fasa gas. Hal ini mempercepat lepasnya reaktan alkohol dari fasa minyak sebelum bereaksi selesai.

Untuk meminimalisir berbagai kelemahan teknologi proses di atas dalam mensimulasi suatu kondisi reaksi untuk pembuatan biodiesel, penelitian ini memberikan alternatif metoda yang memanfaatkan *high shear* (geseran antara partikel-partikel fluida karena gradien kecepatan) dalam campuran reaksi dengan menumbukkan jet fluida dari nosel secara vertikal ke campuran reaksi dalam kolom. Proses ini bisa direalisasikan dengan menggunakan reaktor kolom gelembung pancaran (*jet bubble column reactor*). *High shear* menyebabkan temperatur fluida sedikit meningkat yang mengubah cairan menjadi uap yang mudah membentuk gelembung-gelembung dalam lingkungan *fluida* yang viskos. Di samping itu, *high shear* memperkuat pengadukan antara partikel-partikel fluida karena kecepatan relatif yang cukup besar diantara partikel-partikel tersebut (Itih dkk, 2004; Milenkovic, 2005).

Selama ini, penelitian yang ada umumnya terfokus pada peningkatan reaksi biodiesel dari segi mekanisme reaksi dan kinetika reaksi. Segi hidrodinamika pun sebenarnya turut berperan dalam proses pembuatan biodiesel. Reaksi antara dua jenis fluida dapat ditingkatkan dengan menciptakan kondisi dimana fluida yang satu dapat terdispersi dengan cepat ke dalam fluida lainnya. Penelitian ini memberikan alternatif solusi dengan mengembangkan produksi biodiesel menggunakan reaktor kolom gelembung pancaran (*Jet Bubble Column*).

Pada penelitian terdahulu mengenai penggunaan kolom gelembung pancaran telah digunakan untuk proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dan telah dilakukan pula uji hidrodinamikanya. Hasil penelitian dengan menggunakan alat ini memberikan hasil yang sangat baik yaitu terjadi penurunan kadar CO<sub>2</sub> dari 70% hingga 3 % hanya dalam waktu 5 menit (Wijaya, 2008). Penggunaan reaktor *bubble column*

tanpa menggunakan tenaga jet untuk proses pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi non-katalitik pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini menghasilkan konversi biodiesel sebesar 95,17 % berat namun dalam suhu yang tinggi yaitu 523 K dan memerlukan sistem peralatan yang lebih kompleks (Joelianingsih dkk, 2007). Selain itu reaksi biodiesel dengan menggunakan kolom gelembung pancaran pernah dilakukan sebelumnya. Akan tetapi hanya terbatas pada pengamatan dari segi kinetika reaksi. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan katalis dan tidak menggunakan katalis. Reaksi katalitik memberikan keadaan optimal setelah reaksi berlangsung 30 menit pada rasio mol metanol dan minyak sebesar 6 : 1 dengan *yield* biodiesel sebesar 85%. Sedangkan hasil reaksi non-katalitik memberikan hasil optimal pada rasio mol 6 : 1 setelah reaksi berlangsung selama 50 menit dengan *yield* biodiesel sebesar 73% (Setiadi;Supramono, dijan;Karnanim, 2010).

Pada penelitian ini, studi hidrodinamika untuk proses reaksi biodiesel dengan menggunakan kolom gelembung pancaran dapat dilakukan dengan mengganti bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO) dan methanol menjadi gliserol dan air. Alasan pergantian jenis reaktan ini adalah agar tidak ada faktor reaksi di dalamnya, sehingga hanya segi hidrodinamika saja yang diamati. Untuk mengetahui *velocity gradien*, dilakukan dokumentasi dalam bentuk foto dan video untuk merekam dalam bentuk gambar fluida yang mengalir dari kolom gelembung pancaran, dan mengamati distribusi kecepatan yang terbentuk dengan adanya *tracer* pada fluida. Selanjutnya analisis dilakukan dengan menggunakan *software* perhitungan distribusi kecepatan dari suatu fluida. Parameter yang divariasikan adalah rasio mol gliserol terhadap air, setara dengan rasio mol metanol/CPO dalam reaksi biodiesel dan kecepatan jet dari diameter nozel/jet.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penggunaan kolom gelembung pancaran dapat meningkatkan proses reaksi biodiesel dengan merancang dan memvariasikan kondisi operasi nilai kecepatan pancaran dan rasio mol air/gliserol dalam kolom yang dalam hal ini merupakan pengganti CPO dan metanol. Hingga saat ini, penelitian yang sudah ada umumnya hanya membahas mengenai peningkatan reaksi biodiesel dari segi mekanisme dan

kinetika reaksi. Pada penelitian ini reaksi biodiesel akan ditingkatkan melalui segi mekanika fluida dan hidrodinamika untuk melihat *velocity gradient* fluida dalam kolom serta seberapa besar pengaruh mekanika fluida dan hidrodinamika yang berupa *velocity gradient* terhadap peningkatan kinetika reaksi biodiesel. Kolom gelembung pancaran memanfaatkan *high shear* (geseran antara partikel-partikel fluida karena adanya gradien kecepatan) dengan menumbukkan fluida yang keluar dari jet ke dalam fluida yang ada di dalam kolom. *High shear* menyebabkan suhu fluida dalam kolom sedikit meningkat dan membentuk gelembung di antara minyak kelapa sawit yang bersifat viskos. Terbentuknya gelembung merupakan efek samping yang harus diatasi salah satu satunya dengan *high shear* untuk memperoleh ukuran gelembung yang lebih kecil. Adanya *high shear* ini juga membuat gelembung-gelembung yang ada pecah dan menyebabkan luas bidang kontak antara campuran akan semakin besar dan pencampuran akan semakin efisien. (Cummins dan Chanson, 1999). Dengan pencampuran yang semakin besar dan efisien maka akan meningkatkan gradien kecepatan dan kinetika yang terjadi semakin besar. Metode yang digunakan untuk penentuan *velocity gradient* ini juga sangat penting untuk mendapatkan hasil yang optimal, penelitian ini akan digunakan metode PIV (*particle Image Velocity*) dengan menggunakan alat tambahan berupa kolom empat persegi panjang karena dengan menggunakan kolom ini proses fotografi untuk distribusi kecepatan akan lebih mudah diamati, luas dan datar. Hasil dari fotografi berupa video dan image kalibrasi akan dianalisa menggunakan komputersasi dengan *software*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung gradien kecepatan dalam campuran fluida pada kolom gelembung pancaran pada berbagai variasi kecepatan jet dan variasi rasio mol setara rasio mol methanol terhadap CPO dalam reaksi biodiesel.

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Campuran yang digunakan dalam mensimulasi adalah campuran air (aquades), dan gliserol.
2. Parameter yang divariasikan adalah rasio mol setara rasio mol metanol/CPO dalam reaksi biodiesel, dan kecepatan jet dari diameter nozel/jet.
3. Variabel yang diukur pada uji hidrodinamika adalah gradien kecepatan

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

♣ **BAB 1. PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

♣ **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan studi literatur secara umum dan khusus mengenai hal-hal yang berkaitan dalam penelitian.

♣ **BAB 3. METODE PENELITIAN**

Berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur penelitian.

♣ **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan prosedur yang tertera di bab sebelumnya. Dalam bab ini juga terdapat analisa dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah diperoleh.

♣ **BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi rangkuman dari hasil penelitian yang dilakukan yang mengacu pada hasil yang telah didapat. Bab ini merupakan jawaban dari tujuan penelitian.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biodiesel**

Pengertian ilmiah paling umum dari biodiesel adalah mencakup sembarang (dan semua) bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari sumber daya hayati atau biomassa. Pengertian secara lebih sempit yang dapat diterima luas di dalam industri 'biodiesel' adalah bahan bakar yang terdiri dari senyawa mono alkil ester yang diproduksi melalui reaksi antara trigliserida dengan methanol menjadi metil ester dan gliserol dengan bantuan katalis maupun tanpa katalis. Trigliserida tersebut berasal dari sumber yang dapat diperbaharui, yaitu minyak nabati maupun lemak hewani (Moser, 2009). Biodiesel mempunyai rantai karbon antara 12 hingga 20 serta mengandung oksigen.

Suatu teknik pembuatan biodiesel hanya akan berguna apabila produk yang dihasilkannya sesuai dengan spesifikasi (syarat mutu) yang telah ditetapkan dan berlaku di daerah pemasaran biodiesel tersebut. Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia sudah dibakukan dalam SNI-04-7182-2006, yang telah disahkan dan diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) tanggal 22 Februari 2006 (Soerawidjaja, 2006; Zandy, dkk. 2007). Tabel 2.1 menyajikan persyaratan kualitas biodiesel yang diinginkan.

**Tabel 2.1** Persyaratan kualitas biodiesel menurut SNI-04-7182-2006.

Parameter dan satuannya	Batas nilai	Metode uji	Metode setara
Massa jenis pada 40°C.kg/m <sup>3</sup>	850-890	ASTM D 1298	ISO 3675
Viskositas kinematik pada 40°C.mm <sup>2</sup> /s (cst)	2,3-6,0	ASTM D 445	ISO 3104
Angka setana	Min 51	ASTM D 613	ISO 5165
Titik nyala (mangkok tertutup).Oc	Min 100	ASTM D 93	ISO 2710
Titik kabut. oC	Maks 18	ASTM D 2500	-
Korosi bilah tembaga (3 jam.50oC)	Maks no. 3	ASTM D 130	ISO 2160
Residu karbon.% berat. - dalam contoh asli - dalam 10% ampas distilasi	Maks 0,05 (maks 0,03)	ASTM D 4530	ISO 10370
Air dan sedimen. %-vol	Maks 0,05	ASTM D 2709	-
Temperatur distilasi 90%.oC	Maks 360	ASTM D 1160	-
Abu tersulfaktan. % berat	Maks 0,02	ASTM D 874	ISO 3987
Belerang. Ppm-b (mg/kg)	Maks 100	ASTM D 5453	PrEN ISO 20884
Fosfor.ppm-b (mg/kg)	Maks 10	AOCS Ca 12-55	FBI-A05-03
Angka asam. Mg-KOH/g	Maks 0,8	AOCS Cd 3-63	FBI-A01-03
Gliserol bebas, % berat	Maks 0,02	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Gliserol total.% berat	Maks 0,24	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Kadar ester alkil % berat	Min 96,5	Dihitung *)	FBI-A03-03
Angka iodium. G-I2/(100g)	Maks 115	AOCS Cd 1-25	FBI-A04-03
Uji halpen	Negatif	AOCS Cb 1-25	FBI-A06-03

\*) berdasarkan angka penyabunan, angka asam, serta kadar gliserol total dan gliserol bebas: rumus perhitungan dicantumkan dalam FBI-A03-03. Sumber: Soerwidjaja, 2006

Biodiesel telah menarik perhatian banyak pihak sebagai bahan bakar alternatif atau campuran untuk diesel dari minyak bumi yang digunakan pada pembakaran mesin diesel. Selain itu biodiesel memiliki keuntungan lain, adalah dihasilkan dari sumber daya energi terbarukan dan ketersediaan bahan bakunya terjamin, cetane number tinggi (bilangan yang menunjukkan ukuran baik tidaknya kualitas solar berdasar sifat kecepatan bakar dalam ruang bakar mesin), viskositas

tinggi sehingga mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik daripada solar sehingga memperpanjang umur pakai mesin, dapat diproduksi secara local, mempunyai kandungan sulfur yang rendah, menurunkan tingkat opasitas asap, menurunkan emisi gas buang, pencampuran biodiesel dengan petroleum diesel dapat meningkatkan biodegradability petroleum diesel sampai 500 % (www.google.com. *Clearinghouse energy Terbarukan dan konservasi-Biodiesel*. 2010).

Selain itu biodiesel juga memiliki kekurangan yaitu, harga bahan baku yang tinggi, stabilitas oksidatif rendah, penyimpanan yang lebih sulit, kandungan energi volumetrik yang lebih rendah, operabilitas pada temperatur rendah yang lebih buruk dari petrodiesel. Kekurangan-kekurangan tersebut dapat diatasi dengan beberapa cara, antara lain dengan *cold flow improver* (Chiu, dkk. 2004; Hancsok, dkk. 2008; Moser, dkk. 2009), aditif antioksidan (Mitellbatch&schber 2003;Tang, dkk. 2008), pencampuran dengan petrodiesel, dan atau mempersingkat waktu penyimpanan (Bondioli, dkk.2003).

### 2.1.1 Bahan Baku dan Proses Pembuatan Biodiesel

Minyak nabati sebagai sumber utama biodiesel dapat dipenuhi oleh berbagai macam jenis tumbuhan tergantung pada sumber daya utama yang banyak terdapat di suatu tempat/negara. Indonesia mempunyai banyak sumber daya untuk bahan baku biodiesel.

**Tabel 2.2** Beberapa sumber minyak nabati yang potensial sebagai bahan baku biodiesel.

Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak
Jarak Pagar	Jatropha Curcas	Inti biji
Jarak Kaliki	Riccinus Communis	Biji
Kacang Suuk	Arachis Hypogea	Biji
Kapok/Randu	Ceiba Pantranda	Biji
Karet	Hevea Brasiliensis	Biji
Kecipir	Psophocarus Tetrag	Biji
Kelapa	Cocos Nucifera	Inti biji

Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak
Kelor	Moringa Oleifera	Biji
Kemiri	Aleurities Moluccana	Inti biji
Kusambi	Sleichera Trijuga	Sabut
Nimba	Aadiruchta Indica	Inti biji
Saga Utan	Adenantha Pavonina	Inti biji
Sawit	Elais Suincencis	Sabut dan biji
Nyamplung	Callophyllum Lanceatum	Inti biji
Randu Alas	Bombax Malabaricum	Biji
Sirsak	Annona Muricata	Inti biji
Srikaya	Annona Squosa	Biji

Sumber: [www.google.com](http://www.google.com). *Clearinghouse energy Terbarukan dan konservasi-Biodiesel*. 2010.

Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati maupun lemak hewan, namun yang paling umum digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak nabati. Minyak nabati dan biodiesel tergolong ke dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Akan tetapi, minyak nabati adalah triester asam-asam lemak dengan gliserol, atau trigliserida, sedangkan biodiesel adalah monoester asam-asam lemak dengan metanol. Perbedaan wujud molekuler ini memiliki beberapa konsekuensi penting dalam penilaian keduanya sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel :

1. Minyak nabati (yaitu trigliserida) berberat molekul besar, jauh lebih besar dari biodiesel (yaitu ester metil). Akibatnya, trigliserida relatif mudah mengalami perengkahan (*cracking*) menjadi aneka molekul kecil, jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati memiliki kekentalan (viskositas) yang jauh lebih besar dari minyak diesel/solar maupun biodiesel, sehingga pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam kamar pembakaran.
3. Molekul minyak nabati relatif lebih bercabang dibanding ester metil asam-asam lemak. Akibatnya, angka setana minyak nabati lebih rendah daripada

angka setana ester metil. Angka setana adalah tolok ukur kemudahan menyala/terbakar dari suatu bahan bakar di dalam mesin diesel. (Zandy, dkk. 2007).

Di luar perbedaan yang memiliki tiga konsekuensi penting di atas, minyak nabati dan biodiesel sama-sama berkomponen penyusun utama ( $\geq 90$  %-berat) asam-asam lemak. Pada kenyataannya, proses transesterifikasi minyak nabati menjadi ester metil asam-asam lemak, memang bertujuan memodifikasi minyak nabati menjadi produk (yaitu biodiesel) yang berkekentalan mirip solar, berangka setana lebih tinggi, dan relatif lebih stabil terhadap perengkahan.

Semua minyak nabati dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar namun dengan proses-proses pengolahan tertentu (Y.M Choo, 1994; Zandy, dkk. 2007). Tabel 2.3 menunjukkan berbagai macam tanaman penghasil minyak nabati serta produktifitas yang dihasilkannya.

**Tabel 2.3** Tanaman penghasil minyak nabati serta produktifitasnya

Nama Indo	Nama Inggris	Nama Latin	Kg-/ha/thn
Sawit	Oil palm	<i>Elaeis guineensis</i>	5000
Kelapa	Coconut	<i>Cocos nucifera</i>	2260
Alpoket	Avocado	<i>Persea americana</i>	2217
K. Brazil	Brazil nut	<i>Bertholletia excelsa</i>	2010
K. Makadam	Macadamia nut	<i>Macadamia ternif.</i>	1887
Jarak pagar	Physic nut	<i>Jatropha curcas</i>	1590
Jojoba	Jojoba	<i>Simmondsia califor.</i>	1528
K. pekan	Pecan nut	<i>Carya pecan</i>	1505
Jarak kaliki	Castor	<i>Ricinus communis</i>	1188
Zaitun	Olive	<i>Olea europea</i>	1019
Kanola	Rapeseed	<i>Brassica napus</i>	1000
Opium	Poppy	<i>Papaver somniferum</i>	978

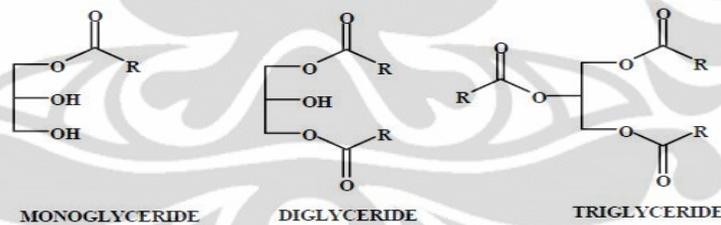
Sumber: Soerawidjaja,2006; Zandy, dkk. 2007.

Komposisi yang terdapat dalam minyak nabati terdiri dari trigliserida-trigliserida asam lemak (mempunyai kandungan terbanyak dalam minyak nabati, mencapai sekitar 95%-b), asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* atau biasa disingkat dengan FFA), mono- dan digliserida, serta beberapa komponen-komponen lain seperti *phosphoglycerides*, vitamin, mineral, atau sulfur. Bahan-bahan mentah pembuatan biodiesel adalah (Mittelbach. 2004; Zandy, dkk. 2007):

- a. Trigliserida-trigliserida, yaitu komponen utama aneka lemak dan minyak-lemak, dan
- b. Asam-asam lemak, yaitu produk samping industri pemulusan (*refining*) lemak dan minyak-lemak.

### Trigliserida

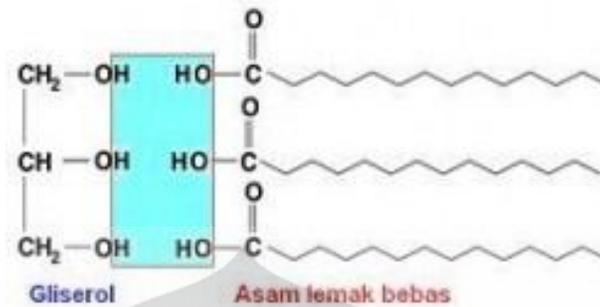
Trigliserida adalah triester dari gliserol dengan asam-asam lemak, yaitu asam-asam karboksilat beratom karbon 6 s/d 30. Trigliserida banyak dikandung dalam minyak dan lemak, merupakan komponen terbesar penyusun minyak nabati. Selain trigliserida, terdapat juga monogliserida dan digliserida. Struktur molekul dari ketiga macam gliserid tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Struktur molekul monogliserida, digliserida, dan trigliserida (Zandy, dkk. 2007)

### Asam Lemak Bebas

Asam lemak bebas adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Hal ini dapat disebabkan oleh pemanasan dan terdapatnya air sehingga terjadi proses hidrolisis. Oksidasi juga dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dalam minyak nabati.



**Gambar 2.2** Struktur molekul asam lemak bebas (Zandy, dkk. 2007).

Dalam proses konversi trigliserida menjadi alkil esternya melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa, asam lemak bebas harus dipisahkan atau dikonversi menjadi alkil ester terlebih dahulu karena asam lemak bebas akan mengkonsumsi katalis. Kandungan asam lemak bebas dalam biodiesel akan mengakibatkan terbentuknya suasana asam yang dapat mengakibatkan korosi pada peralatan injeksi bahan bakar, membuat filter tersumbat dan terjadi sedimentasi pada injektor (www.journeytoforever.com; Zandy, dkk. 2007). Pemisahan atau konversi asam lemak bebas ini dinamakan tahap preesterifikasi.

## Proses Pembuatan Biodiesel

### Esterifikasi

Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis-katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat dan, karena ini, asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat merupakan katalis-katalis yang biasa terpilih dalam praktek industrial (Soerawidjaja. 2006; Zandy, dkk. 2007). Untuk mendorong agar reaksi bisa berlangsung ke konversi yang sempurna pada temperatur rendah (misalnya paling tinggi 120° C), reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih (biasanya lebih besar dari 10 kali nisbah stoikiometrik) dan air produk ikutan reaksi harus disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Melalui kombinasi-kombinasi yang tepat dari kondisi-kondisi reaksi dan metode penyingkiran air, konversi sempurna asam-asam lemak

ke ester metilnya dapat dituntaskan dalam waktu 1 sampai beberapa jam. Reaksi esterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.

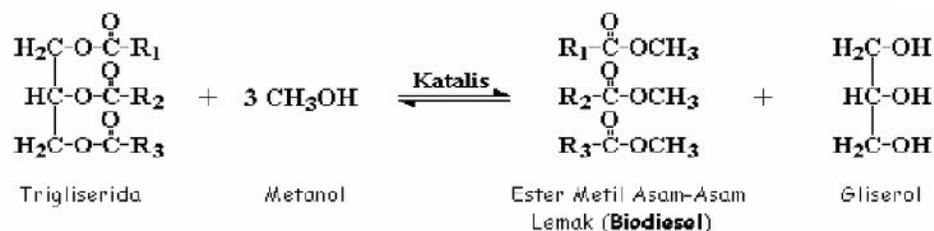


**Gambar 2.3** Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester (Zandy, dkk. 2007).

Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (berangka-asam  $\geq 5$  mg-KOH/g). Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi metil ester. Tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diumpankan ke tahap transesterifikasi, air dan bagian terbesar katalis asam yang dikandungnya harus disingkirkan terlebih dahulu.

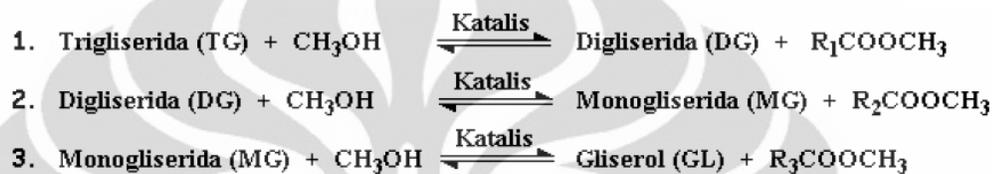
### Transesterifikasi

Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkyl ester, melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil, metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis). Jadi, di sebagian besar dunia ini, biodiesel praktis identik dengan ester metil asam-asam lemak (*Fatty Acids Metil Ester*, FAME). Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Reaksi transesterifikasi dari trigliserida menjadi ester metil asam-asam lemak (Zandy, dkk.2007).

Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat (Mittlebatch,2004; Zandy, dkk. 2007). Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Reaksi transesterifikasi sebenarnya berlangsung dalam 3 tahap yaitu sebagai berikut:



**Gambar 2.5** Tahapan reaksi transesterifikasi (Zandy, dkk. 2007).

Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu:

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

## 2.2 Gliserol

Gliserol merupakan senyawa alkohol yang memiliki 3 gugus hidroksil. Satu molekul gliserol dapat mengikat satu, dua, tiga molekul asam lemak dalam bentuk ester, yang disebut monogliserida, digliserida dan trigliserida. Sebagai salah satu jenis alkohol, gliserol juga memiliki kemampuan untuk membentuk garam seperti *sodium glyceroxide*. *Physical properties* dari gliserol dapat diamati pada table berikut.

**Tabel 2.4** *Physical Properties* dari Gliserol (Knothe.dkk, 2005).

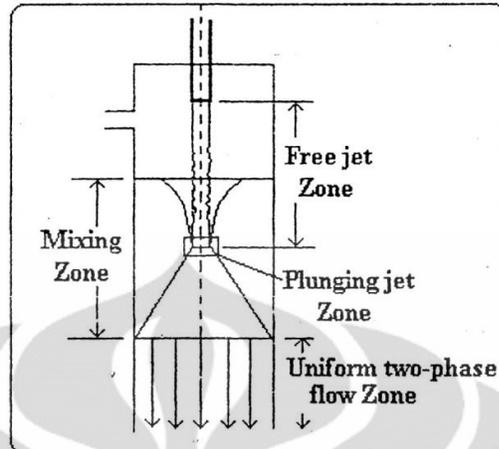
<b>Physical Properties of Glycerol</b>	
Property	Value
Melting point (C)	18.17
Boiling point (°C)	
0.54 kPa	14.9
1.33 kPa	166.1
13.33 kPa	222.4
101.3 kPa	290
Specific gravity, 25/25°C	1.262
Vapor pressure (Pa)	
50°C	0.33
100°C	526
150 °C	573
200°C	6100
Surface tension (20°C, mN/m)	63.4
Viscosity (20°C, mPa-s)	1499
Heat of vaporization (J/mol)	
55°C	88.12
95°C	76.02
Heat of solution to infinite dillution (kJ/mol)	5.778
Heat of formation (kJ/mol)	667.8
Thermal conductivity [W/(m.K)]	0.28
Flash point (°C)	
Cleveland open cup	177
Pensky-Martens closed cup	199
Fire point (°C)	204

### 2.3 Reaktor *Jet Bubble Column*

Kolom gelembung pancaran (*jet bubble column*) adalah salah satu alat yang berfungsi sebagai alat kontak antara fasa gas dan fasa cair. Kolom gelembung pancaran ini kemungkinan merupakan peralatan yang paling sering digunakan untuk mendapatkan pencampuran yang paling efisien antara gas dan cair dan juga antara cair dan cair. Di industri-industri seperti industri kimia dan petrokimia kolom gelembung pancaran telah meluas digunakan sebagai suatu alat tempat berlangsungnya proses perpindahan massa gas kedalam fasa cair. Sehingga kolom gelembung pancaran dapat berfungsi sebagai reaktor kimia (Mitsuharu, dkk. 2001; Sommerfeld dan Broder. 2009). Kemampuan dari kolom gelembung pancaran dibatasi oleh koefisien perpindahan massanya. Koefisien perpindahan massa ini dapat ditingkatkan dengan beberapa cara, antara lain dengan menambah proses pengadukan di dalam kolom atau dengan menggunakan *forced oscillation* (Waghmare, dkk. 2009).

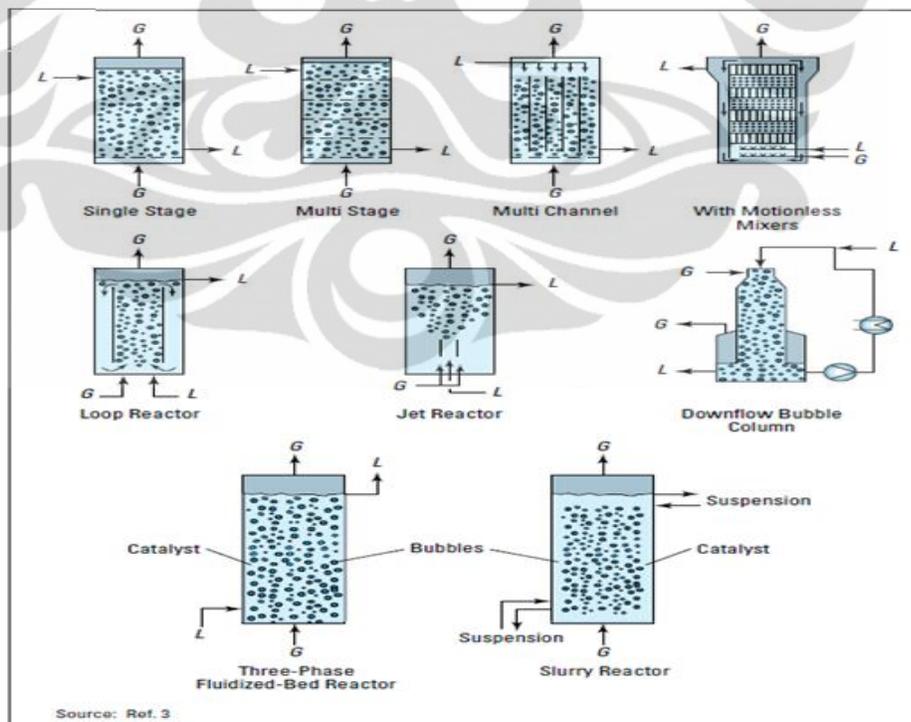
Prinsip kerja alat ini dalam penelitian yang diusulkan cukup sederhana, yaitu fluida yang ditembakkan oleh *jet* terhadap fluida stagnan mengakibatkan terjadinya peristiwa tumbukan yang mengakibatkan pecahnya lapisan film cairan (Evans, 1990). Proses tumbukan ini juga menimbulkan arus pusaran (*eddy current*) yang terjadi didalam kolom dan berperan sebagai energi pencampuran (Setiadi, dkk, 2008).

Dari Gambar 2.6 Terdapat tiga daerah hidrodinamika pada kolom gelembung pancaran, yaitu daerah pancaran bebas (*free jet zone*), daerah pancaran jatuh (*plunging jet zone*) dan daerah aliran dua fasa yang seragam (*uniform two-phase flow jet*). Lubang cairan yang berbentuk seperti terompet terjadi di daerah pancaran bebas dan pada daerah pancaran jatuh. Pada kedua daerah ini akan terjadinya pusaran *eddy* (*eddy current*). Pusaran *eddy* ini mengakibatkan pencampuran antara gas-cairan sehingga tidak diperlukan lagi alat pengaduk dan alat untuk mengalirkan gas (kompresor). Sedangkan pada daerah aliran dua fasa yang seragam, fasa gas akan terdispersi merata kedalam fasa cair (Evans, 1990).



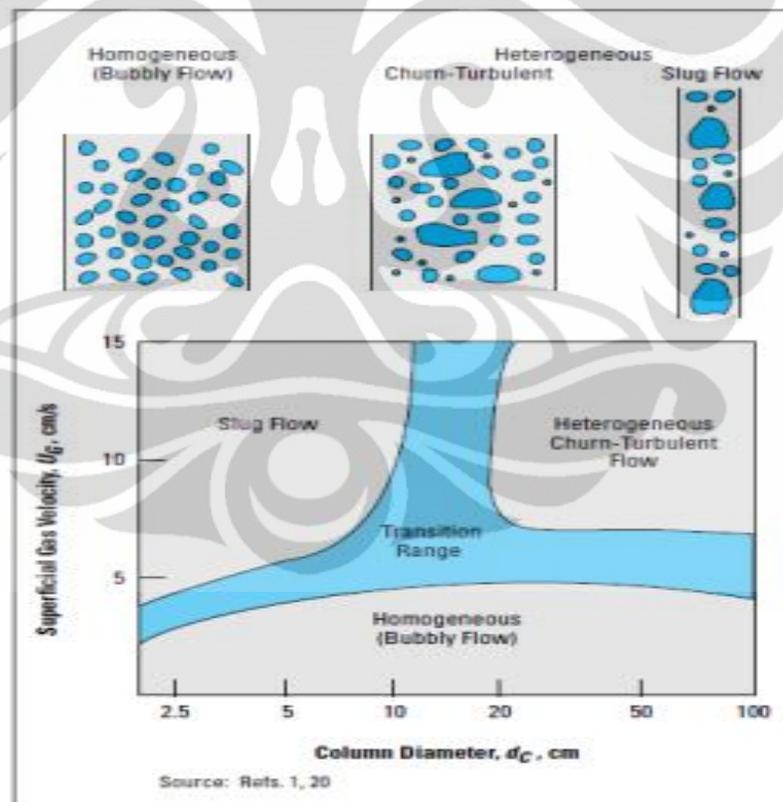
**Gambar 2.6** Definisi daerah hidrodinamik di dalam daerah downcomer pada alat kolom gelembung pancaran. (Evans, 1990)

Reaktor jet (*loop*) ini merupakan tipe khusus dari kolom gelembung dimana pancaran cairan diinjeksikan ke dalam kolom dengan kecepatan tinggi. Pencampuran dalam kolom seluruhnya diakibatkan oleh jet tersebut (Ito, dkk., 2000). Tipe-tipe lain dari kolom gelembung pancaran dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Jenis-jenis kolom gelembung (Lee dan Tsui, 1998)

Terdapat tiga jenis aliran yang ada pada kolom gelembung pancaran, yaitu *bubbly flow*, *churn-turbulent flow*, dan *slug flow*. Pada kecepatan jet yang rendah, gelembung akan memiliki bentuk dan ukuran yang seragam pada tinggi yang sama dalam kolom. Gelembung gas akan saling bertabrakan satu sama lain. Daerah ini juga disebut sebagai daerah aliran homogen atau *bubbly flow*. Ketika kecepatan jet lebih dari 5 cm/s, gelembung akan memiliki ukuran yang berbeda pada tinggi kolom yang sama karena adanya peningkatan *coalescence* (peleburan). Terjadi aliran secara acak pada cairan dan meningkatkan intensitas pencampuran. Aliran ini dinamakan *churn-turbulent* atau *heterogeneous flow*. Pada kolom dengan diameter kurang dari 15 cm dengan kecepatan jet yang cukup tinggi, gelembung akan membentuk *slug* yang saling bertabrakan satu sama lain pada seluruh kolom. Pada fluida yang sangat viskos, aliran *slug* ini lebih dominan.



**Gambar 2.8.** Tiga Jenis Aliran Utama pada Kolom Gelembung Pancaran (Lee dan Tsui, 1998).

## 2.4 Keutamaan *Jet Bubble Column*.

Peralatan kontak antar fasa terutama fasa gas dan cair perlu dipilih dan didesain secara sempurna, karena sangat menentukan laju reaksi antar fasa tersebut. Untuk reaksi yang berjalan dengan laju sangat cepat ataupun spontan seperti pada reaksi ozonasi sangat menguntungkan apabila dilakukan dengan luasan kontak maupun laju perpindahan masa antar fasa yang cepat pula. Karena itu reaksi sangat efisien dengan hanya menggunakan ukuran peralatan yang cukup kecil. Berbagai jenis peralatan kontak tersebut telah diuraikan secara jelas oleh Lee dan Pang Tsui dan menunjukkan bahwa *jet reactor* memberikan luasan kontak yang cukup tinggi ( $1000\sim 7000\text{ m}^2/\text{m}^3$ ) dibanding kolom gelembung ( $\sim 20\text{ m}^2/\text{m}^3$ ), *spray column* ( $10\sim 100\text{ m}^2/\text{m}^3$ ), *packed column* ( $\sim 200\text{ m}^2/\text{m}^3$ ) maupun tangki berpengaduk mekanik ( $\sim 200\text{ m}^2/\text{m}^3$ ) dan bahkan *plate column* ( $100\sim 400\text{ m}^2/\text{m}^3$ ). Dari nilai koefisien perpindahan masa yang tercapai, Takai memperlihatkan bahwa untuk *jet ejector* mempunyai nilai koefisien perpindahan masanya sebesar  $4\sim 6$  /detik yang jauh melampaui *bubble column* ( $0.04\sim 0.06$  /detik) serta tangki berpengaduk ( $0.10\sim 0.15$  /detik). Dapat disimpulkan bahwa berdasar parameter hidrodinamika dan perilaku perpindahan masa, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan peralatan ini sangat efektif sekali untuk melangsungkan reaksi antar fasa gas dan cair.

Peralatan kontak dengan *jet bubble column* diaplikasikan untuk oksigenator untuk peralatan limbah air buangan (Moppett, 1995); peningkatan prose oksidasi dengan ozon pada kelauran *pulp mill* (El-Din dan Smith, 2000), reaksi hidrogenasi (Cramer dan Seinger, 2002). Prinsip dasar kerja peralatan ini didasarkan pada pertemuan antar cairan dengan aliran berkecepatan tinggi dengan permukaan cairan lainnya. Karena momentumnya tinggi, maka pada permukaan cairan membentuk sebuah permukaan menyerupai terompel. Jika kecepatan (momentum) semakin tinggi, maka semakin gas/udara sekeliling permukaan akan terdorong dan tersedot kedalam cairan yakni terjadinya *entrainment* gas kedalam cairan.

Keuntungan peralatan *jet reactor* ini karena konstruksinya dan operasinya cukup sederhana, modal awal dan biaya operasinya cukup rendah. volume reaktor yang dibutuhkan kecil, ukuran diameter gelembung yang terdispersi ke dalam

cairan kecil, luas area spesik antar fasa besar, serta dapat memperoleh koefisien perpindahan massa yang sangat besar apabila dibandingkan dengan jenis kolom gelembung konvensional (Ide.dkk, 2001). Melihat potensinya yang cukup besar sebagai peralatan kontak antar fasa gas dan cair, maka dalam studi hidrodinamika pada penelitian kali ini cukup tepat menggunakan jenis reaktor tersebut.

## 2.5 Studi Hidrodinamika pada *Jet Bubble Column*

Studi hidrodinamika merupakan bagian ilmu mekanika fluida yang berhubungan dengan cairan yang bergerak dan tenaga yang menggerakannya. Penggunaan *jet* pada penelitian ini ditujukan untuk menciptakan peristiwa perpindahan atau pencampuran antar fasa liquid dengan liquid dengan memanfaatkan tumbukan yang terjadi antara fluida yang dipancarkan dengan fluida stagnan. Dalam studi hidrodinamika, *nozzle* dimasukkan ke dalam fluida stagnan agar tidak ada *gas entrainment* yang ikut masuk dan menghasilkan gelembung. Gelembung yang dihasilkan dapat mengganggu pengamatan hidrodinamika karena pada penelitian kali ini kontak yang diinginkan adalah pada fasa liquid-liquid, bukan gas-liquid.

Secara umum, ada beberapa faktor yang menjadi variabel dalam studi hidrodinamika pada *jet bubble column* yang terkait dengan koefisien perpindahan massa, yaitu kecepatan jet, *nozzle diameter*, dan ketinggian fasa kontinyu di atas *nozzle*. Koefisien perpindahan massa meningkat dengan peningkatan *nozzle diameter* dan kecepatan jet, sementara meningkatkan ketinggian fasa kontinyu di atas *nozzle* menurunkan koefisien perpindahan massa (Nosratinia.dkk, 2010). Dalam studi ini, *nozzle diameter* tidak divariasikan sehingga yang menjadi variabel 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. Dengan peningkatan kecepatan *jet*, maka momentum/tumbukan/*shear* yang dimiliki *jet* yang ditransfer ke dalam cairan stagnan semakin besar sehingga membentuk gradien kecepatan di dekat permukaan. Hal ini menyebabkan peningkatan *viscous shear* dan *normal stress* antara fluida yang berbeda kecepatan (Supramono dan Setiadi, 2011).

*Shears* secara langsung mempengaruhi koefisien perpindahan massa secara keseluruhan. Lebih jauh lagi, perilaku ini adalah konsekuensi dari peningkatan pencampuran dan peristiwa aliran turbulensi yang mengarah pada peningkatan pembaharuan mekanisme permukaan, difusivitas eddy, dan perpindahan massa interfacial (Nosratinia.dkk, 2010).

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.dkk, 2010). 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 dan Setiadi, 2011). Pemecahan *bubble size* ini dilakukan oleh *shear (velocity gradient)*, di mana *velocity gradient* ditimbulkan oleh jet (Evans). 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* (Nosratinia.dkk, 2010).

Dengan analogi perpindahan massa dan momentum, ditemukan fakta bahwa hubungan antara bilangan Schmidt yang besar dengan tegangan geser  $\tau$  dinding adalah (Reiss dan Hanratty, 1963):

$$\tau = \frac{1.9\mu D}{l^2} Sh^3 \quad (2.1)$$

dimana  $\tau = \textit{shear stress}$  (Pa)

$\mu = \textit{dynamic viscosity}$  (cP)

$D = \textit{diffusion coefficient}$  (m<sup>2</sup>/s)

$l = \textit{diameter elektroda}$  (m)

$Sh = \textit{Sherwood number}$

Hubungan antara *Sherwood number* dengan koefisien perpindahan massa (Berger dan Hau, 1977):

$$Sh = \frac{Kd}{D} \quad (2.2)$$

dimana  $Sh = \textit{Sherwood number}$   
 $d = \text{diameter pipa efektif (m)}$   
 $D = \textit{diffusion coefficient (m}^2/\text{s)}$

Kita dapat menemukan sebuah hubungan antara *shear stress* dengan *Sherwood number*, yaitu:

$$\tau \sim Sh^3 \quad (2.3)$$

Dengan itu, berarti hubungan antara *shear stress* dengan koefisien perpindahan massa dapat dinyatakan bahwa *shear* berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa pangkat tiga.

$$\tau \sim K^3 \quad (2.4)$$

Koefisien perpindahan massa menyatakan besarnya perpindahan massa yang terjadi (Wang.dkk, 2002). Semakin tinggi koefisien perpindahan massa, akan semakin tinggi pula perpindahan massa yang terjadi. 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*).

Pada penelitian studi hidrodinamika ini, gas entrainment harus dihindarkan karena dua hal yaitu:

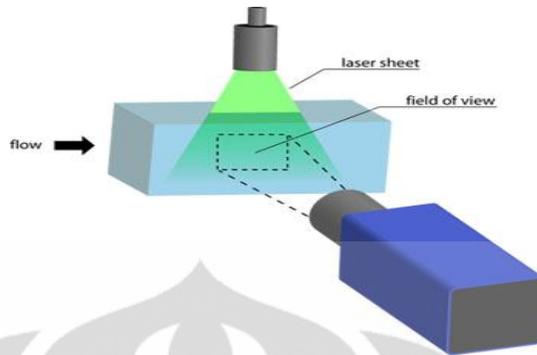
1. Dalam pengukuran PIV sebagai *tracer* hanya menggunakan glass beads. Adanya gelembung akan membentuk *tracer* palsu yang membuat kesalahan dalam pengukuran PIV.

2. Gelembung tidak diinginkan karena memperkecil bidang kontak antara metanol dan CPO. Kerana itu, jet lebih baik dicelupkan ke dalam cairan sehingga entrainment udara bisa diperkecil.

## 2.6 *Particel Image Velocity (PIV)*

PIV adalah teknik optik untuk mengukur pola perpindahan partikel. PIV banyak digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran. Berbeda dengan teknik lainnya, yang mengukur kecepatan sebuah titik tunggal (*point measurement*) seperti *Laser Doppler Anemometry*, PIV menyediakan informasi distribusi kecepatan pada suatu bidang (arah x dan y) dalam fluida (*planar measurement*). Karena PIV melibatkan gerakan tracer yang bergerak bersama fluida dan cahaya laser, aliran fluida tidak terganggu oleh metoda optik ini.

Sebuah sistem PIV biasanya terdiri dari laser yang membentuk lembar cahaya (*light sheet*), satu kamera digital, dan komputer untuk menyimpan data dengan satu unit *sinchroniser* untuk menyesuaikan *timing* pulsa laser dan bukaan aperture kamera dalam hal penggunaan *pulsed laser*. Dalam hal penggunaan *continuous laser*, kamera kecepatan tinggi yang menghasilkan penyimpanan citra dengan kecepatan tinggi (dalam satuan *frame/second*) biasanya digunakan. Bidang kecepatan berupa bidang 2D. Bidang yang akan di ukur di potong oleh selembur laser dan daerah pengukuran dalam bidang yang terkena laser selanjutnya dipotong oleh bidang pandang kamera. Skematis alat dan tata letak dapat dilihat pada Gambar 2.9. Informasi jarak diperoleh dengan mengukur jarak pergerakan tracer antara dua citra yang berurutan dengan menggunakan metoda *cross-correlation*, yang merupakan salah satu metoda yang dipakai pada *digital image processing*. Informasi waktu diperoleh dengan penetapan jeda waktu antara dua citra yang berurutan yang dinyatakan sebagai *frame/second*. Misalnya, jika kita menetapkan *frame/second* sebesar 800 pada kamera, maka jeda waktu antara dua citra adalah  $1/800$  detik = 1250 mikrodetik. Pembagian antara jarak dan waktu akan menghasilkan informasi kecepatan.



**Gambar 2.9** Skema Perangkat Penunjang PIV ([www.piv.de/piv/index.php](http://www.piv.de/piv/index.php)).

Distribusi kecepatan aliran pada kolom berlangsung sangat cepat. Untuk mendapatkan data-data tersebut, diperlukan kamera dengan kecepatan tinggi yang mampu menghasilkan gambar dengan frekwensi akuisisi data yang tinggi. Besaran jarak dibaca dengan mengkonversi satuan pixel ke dalam satuan panjang kemudian dianalisis mengenai hasil yang didapat dan dihubungkan dengan fenomena dispersi kecepatan yang terjadi pada kolom gelembung pancaran. Perekaman dengan gambar dapat dalam bentuk foto ataupun video.

Cahaya yang digunakan berasal dari laser dan daerah di sekitar pengambilan gambar harus gelap. Proses pencampuran antara dua fluida dan tracer direkam dalam bentuk gambar atau video dengan menggunakan kamera kecepatan. Yang diperlukan kamera kecepatan akuisisi data (frame/sec) yang tinggi, bukan resolusi (megapixel/mm sensor size tinggi) tinggi. Hasil yang di dapat kemudian diolah dengan bantuan *software* khusus pengolah gambar pada komputer.

Proses pengambilan gambar untuk distribusi kecepatan aliran pun diharapkan tidak ada gelembung atau seminimal mungkin gelembung yang ada agar tidak mengganggu pembacaan proses. Faktor pendukung penting lainnya dari sistem PIV untuk dapat memudahkan pembacaan kecepatan aliran digunakan tracer yang merefleksikan sinar laser dan mepresentasikan gerak fluida. Pemilihan partikel/*tracer* tergantung pada sifat fluida dalam penelitian, partikel harus cukup kecil agar bergerak dengan kecepatan sama dengan kecepatan fluida, tetapi cukup besar agar dapat merefleksikan cahaya laser. Partikel/*tracer* biasanya berdiameter 10 sampai 100 mikrometer. Semakin kecil partikel, gerak partikel didominasi

dengan *drag stokes* sehingga kecepatan relatif antara partikel *tracer* dan fluida sangat kecil. Jadi ukuran partikel harus seimbang untuk menyebarkan cahaya yang cukup untuk secara akurat memvisualisasikan gerakan fluida dalam lembar cahaya laser namun cukup kecil untuk secara akurat mengikuti arus. Partikel yang digunakan biasanya berupa serbuk kaca (*glass beads*), serpihan polystyrene aluminium, atau tetesan minyak (jika cairan yang diperiksa adalah gas).

## 2.7 Lensa

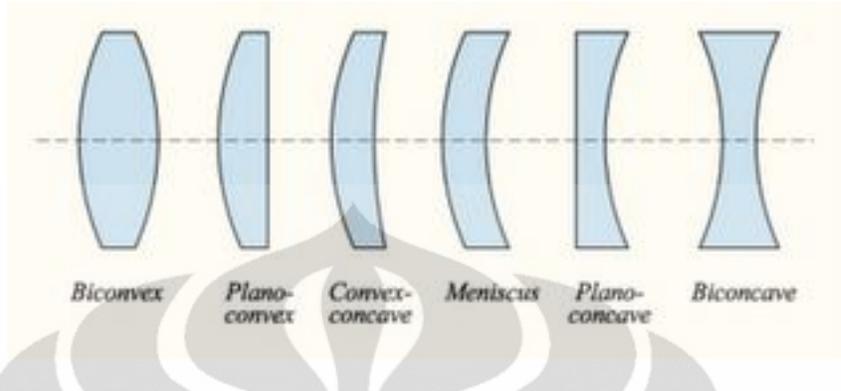
Lensa yang sering kita kenal awalnya disebut sebagai Kanta adalah sebuah alat untuk mengumpulkan atau menyebarkan cahaya, umumnya terbuat dari kaca atau plastik yang dibentuk. memiliki dua permukaan (salah satu atau keduanya memiliki permukaan melengkung) sehingga dapat membelokkan sinar yang melewatinya. lensa atau Kanta paling awal tercatat di Yunani Kuno, sebuah kanta cembung digunakan untuk memfokuskan cahaya matahari untuk menciptakan api. Ada 2 jenis lensa yaitu lensa cembung dan lensa cekung.

### Lensa cembung

Terdiri atas 3 macam bentuk yaitu lensa bikonveks (cembung rangkap), lensa plankonveks (cembung datar) dan lensa konkaf konveks (cembung cekung). Lensa cembung disebut juga lensa positif. Lensa cembung memiliki sifat dapat mengumpulkan cahaya (konvergen) sehingga bisa digunakan untuk memfokuskan cahaya. Ciri-ciri lensa cembung yaitu (1) bagian tengah lensa lebih tebal dibandingkan bagian tepinya, (2) bersifat mengumpulkan sinar, (3) titik fokusnya bernilai positif.

### Lensa cekung

Memiliki 3 macam bentuk yaitu lensa bikonkaf (cekung rangkap), lensa plankonkaf (cekung datar) dan lensa konveks konkaf (cekung cembung). Lensa cekung disebut juga lensa negatif. Lensa cekung memiliki sifat dapat menyebarkan cahaya (divergen) sehingga bisa digunakan untuk membentuk *laser sheet* (lembaran cahaya laser). Ciri-ciri lensa cekung adalah (1) bagian tengah lensa lebih tipis dibandingkan bagian tepinya, (2) bersifat menyebarkan sinar, (3) titik fokusnya bernilai negatif.



**Gambar 2.10** Bentuk-Bentuk Lensa (<http://id.wikipedia.org/lensa cekung-cembung>)

## 2.8 Penelitian Yang Berkaitan

Reaksi pembuatan biodiesel adalah melalui reaksi transesterifikasi antara molekul minyak dengan alkohol. Kendala utama reaksi transesterifikasi adalah tingginya kekentalan minyak dan besarnya struktur molekul minyak membuat mobilitas molekul rendah, sehingga mempersulit molekul alkohol untuk bisa mencapai gugus aktif minyak (ester/karboksil) dan bereaksi karena kendala rintangan sterik-nya. Metanol sebagai salah satu reaktan mempunyai titik didih  $60^{\circ}\text{C}$ , sehingga kenaikan temperatur campuran reaksi akan mengubah cairan metanol menjadi uap dalam cairan viskos (gelembung). Reaktor *jet bubble column* akan mempermudah pertemuan antara molekul alkohol dengan molekul minyak, dapat mengatasi tingginya kekentalan cairan minyak sehingga laju reaksi transesterifikasi akan lebih diakselerasi dan tingkat sempurnanya reaksi pembuatan biodiesel akan lebih dipercepat.

Pada penelitian sebelumnya *jet bubble column* telah digunakan dalam proses sintesis biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi katalitik pada rasio mol metanol/CPO 6:1 hingga 3:1 menghasilkan biodiesel dengan *yield* 85% dalam waktu 30 menit dan reaksi non-katalitik menghasilkan biodiesel dengan *yield* 70% selama 50 menit (Setiadi dkk, 2010). Masih perlu pengembangan lebih lanjut pada reaktor *jet bubble column* untuk peningkatan efisiensi produksi biodiesel sehingga *yield* yang diperoleh pada reaksi non-katalitik pada temperatur kamar lebih besar dari 70%.

Untuk penelitian hidrodinamika yang mengukur *gas hold-up* gelembung dalam fluida dalam kolom, penelitian sebelumnya memperoleh hasil bahwa peningkatan kecepatan jet akan menambah *gas hold-up* dalam fluida dalam kolom, sedang pada kecepatan jet tertentu, penambahan panjang jet akan mengurangi *gas hold-up* (Wijaya, 2008, Supramono dkk, 2009). *Gas hold-up* penting dalam penelitian yang diusulkan untuk menjaga agar uap metanol tetap pada fasa cair (tidak terlepas dari campuran reaksi). Untuk penelitian hidrodinamika yang mengukur distribusi ukuran gelembung, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa distribusi ukuran gelembung lebih dari 98% adalah antara 0.97 mm hingga 7,12 mm (Setiadi dkk, 2008; Tania, 2007). Dua diameter nosel yang berbeda (9.3 dan 12.1 mm) pada laju alir fluida yang sama, hampir tidak mempengaruhi distribusi gelembung, sedangkan pada diameter nosel yang sama, semakin besar laju alir fluida, distribusi gelembung lebih ke arah diameter gelembung yang lebih kecil.

Penelitian terdahulu mengenai penggunaan kolom gelembung pancaran telah digunakan untuk proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dan telah dilakukan pula uji hidrodinamikanya. Hasil penelitian dengan menggunakan alat ini memberikan hasil yang sangat baik yaitu terjadi penurunan kadar CO<sub>2</sub> dari 70% hingga 3 % hanya dalam waktu 5 menit (Wijaya, 2008).

Beberapa faktor yang memengaruhi koefisien perpindahan massa adalah kecepatan jet, *nozzle diameter*, dan ketinggian fasa kontinu di atas *nozzle* (Nosratinia.dkk, 2010). Berdasarkan hasil eksperimen, koefisien perpindahan massa meningkat dengan peningkatan *nozzle diameter* dan kecepatan jet, sementara meningkatkan ketinggian fasa kontinu di atas *nozzle* menurunkan koefisien perpindahan massa.

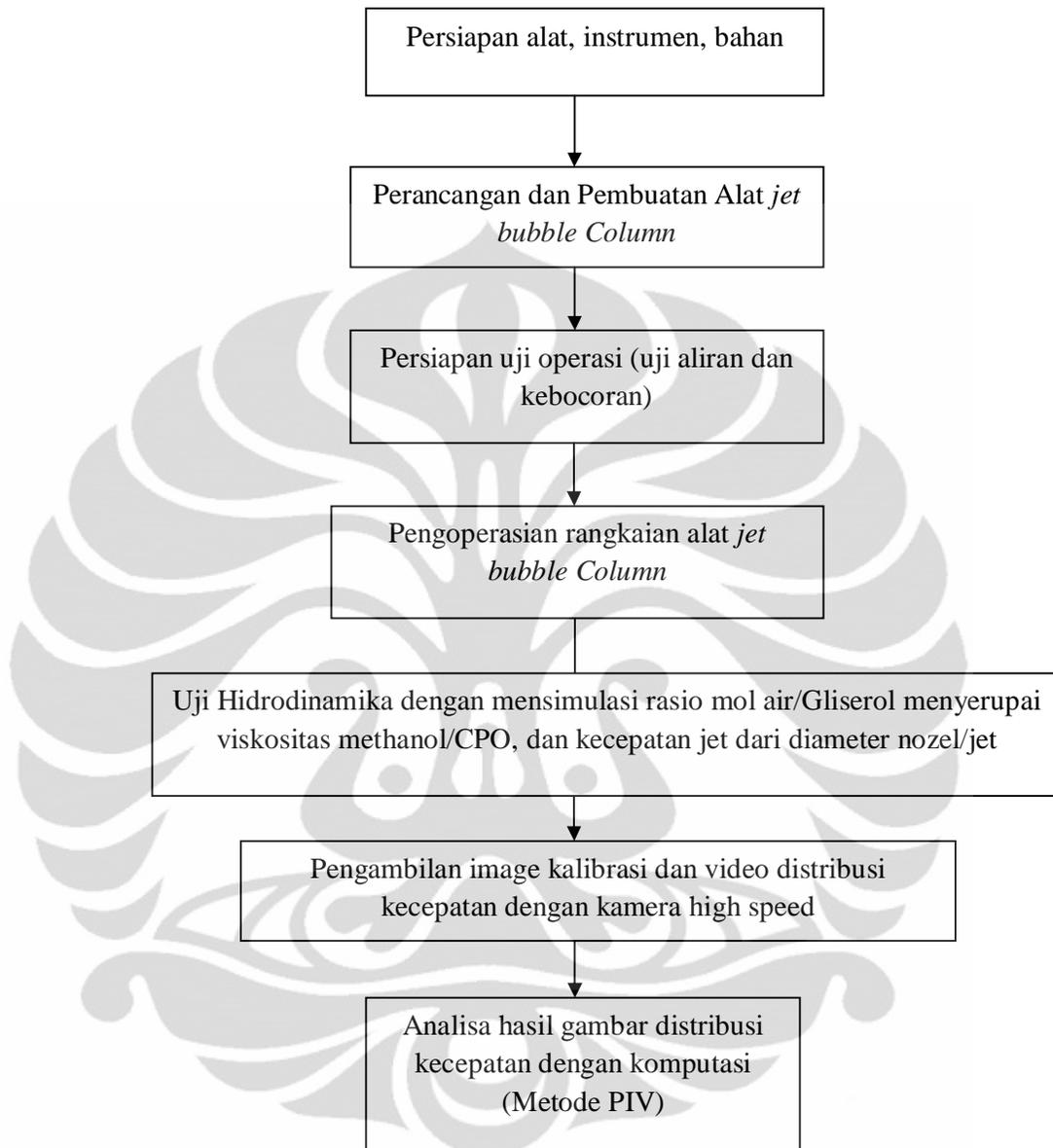
## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Pendahuluan**

Penelitian yang akan dilakukan, yaitu studi hidrodinamika menggunakan *jet bubble column*. Studi hidrodinamika dilakukan dengan menggunakan fluida simulasi yang viskositasnya mendekati fluida sebenarnya (CPO dan metanol). Pada studi ini tidak diinginkan terdapat gelembung yang muncul. Oleh karena itu, *nozzle* pada *jet bubble column reactor* diletakkan di dalam fluida stagnan. Pengamatan aliran fluida dibantu dengan penggunaan *tracer* berupa *glass beads*. Variasi yang digunakan adalah kecepatan jet pada masing-masing variasi rasio mol gliserol/air setara dengan rasio mol metanol/CPO. Studi pengamatan yang dilakukan menggunakan metode *Particle Image Velocimetry* (PIV). Lalu selanjutnya data hasil pengamatan dengan PIV akan dianalisis untuk mendapatkan data gradien kecepatan fluida di dalam *jet bubble column*.

### **3.2 Diagram Alir Penelitian**

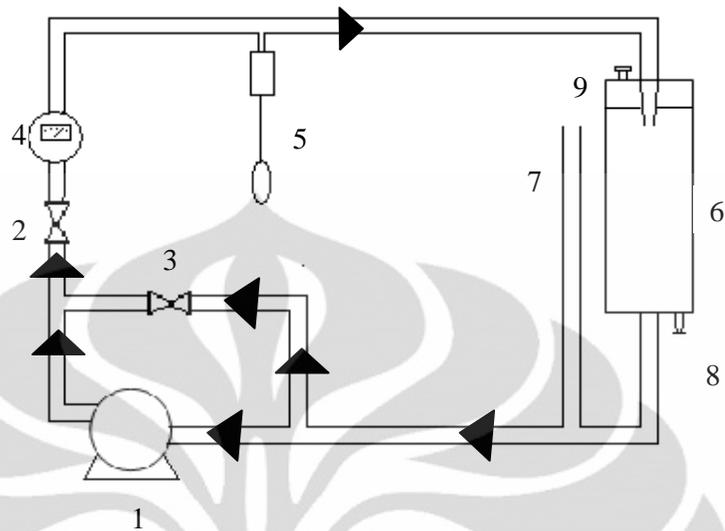
Aktivitas utama penelitian dilakukan di Laboratorium DTK, Universitas Indonesia, Depok. Berikut adalah diagram alir penelitian yang dilakukan.



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian.

### 3.3 Skema Alat

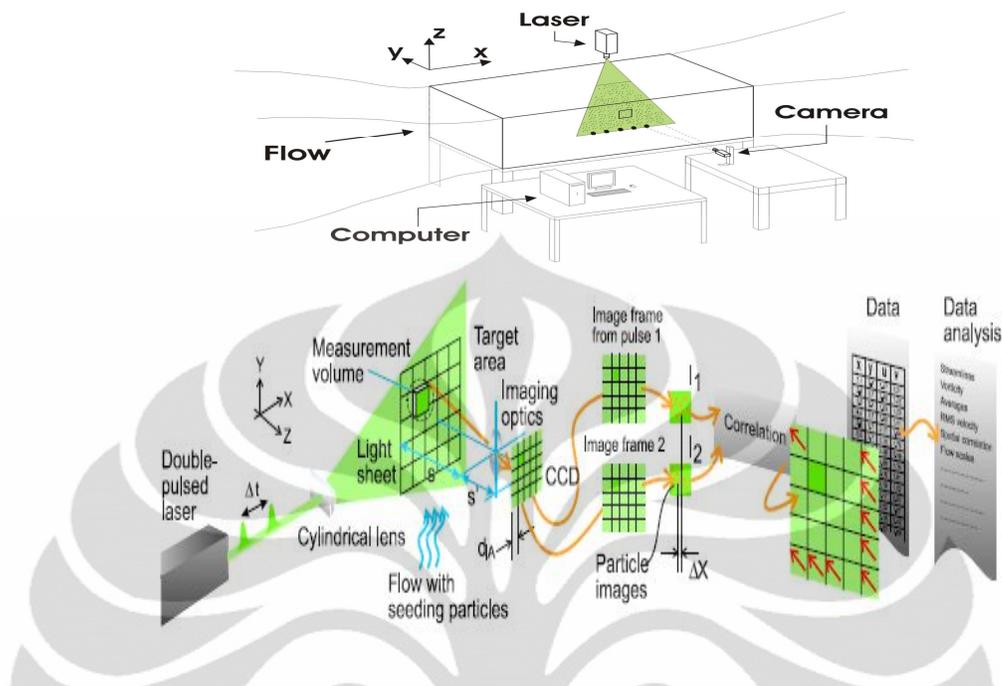
Untuk melaksanakan penelitian ini, diperlukan alat dan instrumen yang disusun menurut skema seperti berikut.



**Gambar 3. 2** Skema alat kolom gelembung pancaran

Keterangan bagian gambar:

1. Pompa
2. Valve untuk mengatur besarnya keluaran fluida dari pompa
3. Valve untuk mengatur partisi keluaran fluida dari pompa agar kerja pompa tidak terlampau berat mengalirkan air ke bagian atas.
4. Pengukur besarnya laju alir
5. Stop kontak otomatis
6. Kolom gelembung pancaran
7. Pipa penyalur udara (pencegah kavitasi pada pompa)
8. Keran untuk mengeluarkan fluida dari dalam kolom
9. Lubang untuk memasukkan fluida ke dalam kolom.



**Gambar 3.3** Skema PIV

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian studi hidrodinamika dengan *jet bubble column* adalah sebagai berikut:

#### Alat:

1. Pompa.  
Berfungsi untuk mengalirkan fluida cair (air) dari tangki penampung air kedalam kolom gelembung pancaran.
2. Kolom gelembung pancaran empat persegi panjang.  
Merupakan peralatan utama dalam percobaan ini. Kolom ini berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi.
3. Kepala Nozzle.  
Berfungsi untuk mengalirkan cairan dengan kecepatan *jet* (pancaran) tertentu yang divariasikan.
4. *Valve*.
5. Perpipaan dan sambungan perpipaan
6. High speed camera, 800 frames/sec.

Kamera di gunakan untuk mengambil gambar distribusi kecepatan

7. Laser *point* Hijau 100mW dengan panjang gelombang 532 nm
8. Lensa *plano concave* panjang fokus -25mm
9. Penyangga Lensa
10. Tripod
11. Stop kontak otomatis
12. Statif
13. Papan *rig*
14. Meteran air.  
Berfungsi untuk pengaturan laju alir cairan.
15. Penggaris panjang untuk kalibasi dalam pengukuran kecepatan.

**Perangkat Lunak:**

1. *Virtualdub* untuk memecah file video dengan ekstensi .AVI menjadi file image dengan ekstensi .BMP.
2. *PivView 1.75* untuk menghitung besarnya kecepatan dan shear (gradien kecepatan) pada lokasi pengambilan citra (image.)
3. *Tecplot* untuk mempresentasikan plot kecepatan dan shear pada bidang pengambilan citra (image)

**Bahan:**

1. Gliserol
2. Aquades

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan Awal

Tahap ini meliputi persiapan peralatan (contoh: katup, kolom gelembung pancaran, dsb) dan bahan (contoh: absorben, air, dsb) yang akan dipergunakan dalam penelitian ini.

#### 3.5.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

Tahap ini meliputi perancangan dan pembuatan alat seperti pada Gambar 3.2 yang akan digunakan untuk penelitian hidrodinamika, yaitu:

1. Membuat dudukan/rak untuk tempat meletakkan peralatan pengukur (papan rig)

2. Merangkai kolom gelembung pancaran empat persegi panjang dengan ukuran panjang kolom 40 cm dan lebar kolom 10 cm. kolom ini terbuat dari bahan dasar kaca. Selain itu pada kolom ini di buat juga tempat memasukkan sampel di bagian atasnya dan keluaran produk di bagian bawahnya.
3. Merangkai sistem perpipaan yang akan dihubungkan ke kolom, pompa dan manometer cairan. Selain itu sistem perpipaan harus di buat *by pass/ recycle* untuk sirkulasi.
4. Pemasangan nozzle dengan ukuran diameter nozzle 9,55 mm.
5. Pemasangan pompa, manometer cairan dan saklar.
6. Pembuatan rangkaian penyangga untuk lensa cekung dan Laser yang terbuat dari kayu yang akan diletakan di samping sejajar dengan kolom gelembung pancaran.

### 3.5.3 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:

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

### 3.5.4 Pengoperasian Rangkaian Alat

Pengoperasian rangkaian alat bertujuan untuk analisa pengujian hidrodinamika. Prosedurnya adalah sbb:

1. Membersihkan kolom gelembung pancaran menggunakan air dengan membuka aliran pada bagian bawah kolom..
2. Memasukkan campuran gliserol dan air yang memiliki viskositas sama dengan campuran CPO dan methanol ke dalam kolom gelembung pancaran sampai diperoleh ketinggian cairan yang diinginkan.

3. Memasang Laser *point* hijau 100mW yang direfleksikan ke lensa cekung datar di sisi sebelah kanan sejajar kolom gelembung pancaran
4. Melakukan pengujian laser *point* yang dipancarkan ke arah kolom gelembung pancaran untuk mendapatkan bayangan sinar yang cocok.
5. Memasang kamera yang diletakan sejajar di depan kolom gelembung pancaran
6. Menghidupkan pompa.
7. Mengoperasikan kolom gelembung pancaran dengan menyalakan stop kontak otomatis untuk memompa campuran bahan agar keluar dari kolom gelembung pancaran dan bersirkulasi dalam proses pencampuran.
8. Mengoperasikan peralatan dalam selang waktu tertentu ( $\pm 20$  menit).
9. Melakukan variasi kecepatan aliran pada kolom gelembung pancaran
10. Merekam hasil distribusi kecepatan pada kolom dengan kamera *high speed*, 800 frames/sec pada ruang gelap selama 5 detik sebanyak tiga kali..
11. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 1- untuk variasi kecepatan jet (3.7, 6.5, 7.7)m/s dan rasio mol air:gliserol (6:1, 5:1, dan 4:1). Viskosity air/gliserol yang di gunakan berdasarkan pendekatan terhadap viskositas CPO/metanol.

Variabel bebas: kecepatan jet dan rasio mol air:gliserol setara rasio mol metanol:CPO sedangkan variabel terikat: *velocity gradient*.

### **3.6 Pengambilan Sampel dan Analisa Data**

#### **3.6.1 Teknik Pengambilan Sampel**

Data yang di ambil berupa hasil video gerakan *glass beads* selama jangka waktu tertentu dari proses pencampuran gliserol dan air. Proses pengambilan data sebagai berikut:

1. Memasang *laser point* yang direfleksikan ke lensa datar cekung di sisi sebelah kanan kolom gelembung pancaran
2. Merekam dalam bentuk video hasil gerakan *glass beads* selama jangka waktu tertentu pada kolom dengan kamera pada ruang gelap dengan sumber laser kontinyu berdaya (100 mW).

3. Mengambil *image* kalibrasi dengan penggaris untuk konversi panjang *pixel* ke panjang *riil* pada perbesaran dan jarak dari kamera yang sama seperti pengambilan video.

### 3.6.2 Analisa Data

#### A. Analisa dengan menggunakan *Software Virtualdub*

Data yang berupa rekaman atau video yang diambil menggunakan kamera *high speed* selanjutnya dipindahkan ke computer untuk diolah di *software Virtualdub*. Pada *software* ini video harus dalam format (AVI), supaya video bisa di pecah dalam bentuk *image* dengan format (.bmp) oleh *software Virtualdub*.

#### B. Analisa *velocity gradient* pada aliran fluida dengan metode PIV (*Particel image velocimetry*).

PIV digunakan untuk analisis kuantitatif kecepatan dan turbulensi, dan untuk visualisasi struktur aliran kuantitatif, misalnya vortisitas (Sommerfeld dan Broder, 1999). Untuk pengukuran kecepatan dengan metoda PIV ini yang datanya akan digunakan untuk melihat gradien kecepatan, eksperimen akan menggunakan Laser Green dengan power (100mW) dan kamera kecepatan tinggi (*high frame speed*). Hasil pencitraan kamera akan diproses di komputer menggunakan perangkat lunak *PivView1.7*. Dalam PIV, vektor kecepatan dihitung dari setiap sub-bagian target luasan dengan mengukur pergerakan partikel antara dua *frame* yang berurutan. Citra dari setiap *frame* akan dibagi menjadi sub-bagian kecil yang disebut *Interrogation Area* (IA) (lihat Gambar 3.3) (Supramono, 2008). Nilai vektor kecepatan dari pasangan *Interrogation Area* dari dua *frame* yang berurutan (I1 dan I2) merupakan hasil pemrosesan *cross-correlation* secara statistik di perangkat lunak *PivView1.7* terhadap partikel-partikel yang ada di *Interrogation Area*. Korelasi ini menghasilkan puncak sinyal yang menunjukkan perpindahan partikel *image* ( $\Delta x$ ). Dengan beda waktu antara 2 *frame* yang diketahui ( $\Delta t$ ), kecepatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Hasil foto/*image* yang didapatkan dan sudah dianalisa dengan *Virtualdub* selanjutnya dianalisa dengan *software PIVview 1.7* untuk menghitung besarnya kecepatan dan *shear (velocity gradient)* pada bidang pengambilan gambar dengan memasukkan ukuran kalibrasi panjang sebenarnya dalam *pixel/mm*. Data yang dihasilkan dalam format (.nc file dan DAT file).

**C. Analisa menggunakan *Software Tecplot***

Selanjutnya data yang sudah dianalisa di *software PIV* kemudian di lanjutkan menggunakan *tecplot*, dimana data yang dianalisa adalah hasil keluaran dari *software PIVview1.7* yang berupa *file average velocity* dengan format (DAT file). Kemudian di *Tecplot average velocity* diplot untuk mempresentasikan kontur kecepatan dan *shear (velocity gradient)* pada bidang pengambilan gambar. Selain itu distribusi kecepatan pun diamati untuk melihat bagaimana proses pendispersian antara satu fluida dengan fluida yang lainnya.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gradien kecepatan, di mana gradien kecepatan ini merupakan indikator ke arah peningkatan *yield* reaksi biodiesel. Sebelum dilakukan pengujian dengan menggunakan kolom gelembung pancaran, pertama-tama dirancang suatu alat kolom gelembung pancaran untuk tempat berlangsungnya reaksi, setelah itu baru dilakukan analisa untuk memperoleh gradien kecepatan pada studi hidrodinamika.

#### **4.1 Perancangan Alat**

- **Kolom gelembung pancaran**

Kolom gelembung pancaran yang akan dibuat terbuat dari kaca dan kolom ini berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran lebar dalam kolom adalah 100 mm dan panjang kolom adalah 400 mm. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan bahwa material tersebut memiliki kemudahan dalam penanganan dan perawatannya, serta memiliki warna yang bening transparan sehingga akan memudahkan untuk melihat fenomena yang terjadi di dalam kolom selama proses operasi (cahaya laser bisa transmisi ke fluida). Selain itu kolom dibuat empat persegi panjang supaya pengaturan transmisi cahaya laser menjadi lebih mudah sehingga tidak terjadi refleksi oleh dinding kolom. Penelitian ini melibatkan aliran fluida dengan kecepatan jet yang kecil dan besar. Maka dari itu mendesain suatu sistem kolom gelembung pancaran sangatlah penting untuk mempertimbangkan faktor sizing (diameter kolom dan tinggi kolom), kekuatan pompa, penyebaran tracer suatu fluida dan kecepatan jet yang diberikan, karena untuk mengetahui hanya efek kecepatan jet saja yang terjadi pada saat proses hidrodinamika berlangsung maka efek dinding harus diabaikan. Untuk itu, kolom harus dibuat lebar.

- **Tracer**

Pada penelitian kali ini menggunakan tracer yang terbuat dari serbuk kaca/*glass beads*, di mana *tracer* ini dapat merefleksikan cahaya dari laser dengan baik sehingga dapat dipakai sebagai indikator gerakan fluida

- **Pointer Laser green dan Lensa Plano concave**

Penelitian ini juga menggunakan laser hijau dengan panjang gelombang 532 nm dan power 100miliWatt. Selain itu pada penelitian ini juga menggunakan alat tambahan berupa lensa datar cekung (*Plano concave*) dengan panjang fokus - 25mm untuk membuat *light sheet* dari sumber laser sehingga ketebalan *sheet* 2 mm tercapai.

- **Fluida**

Fluida yang digunakan dalam penelitian adalah campuran air dan gliserol, di mana prinsip dalam pengukuran hidrodinamika harus menggunakan campuran atau fluida/larutan yang tidak bereaksi. Fluida yang berupa campuran air dan gliserol yang digunakan dalam penelitian ini, merupakan pengganti campuran *Crude Palm Oil* (CPO) dan metanol yang dibuat sedemikian rupa hingga memiliki nilai viskositas yang sama dengan campuran CPO dan metanol.

#### 4.2 Pengujian Hidrodinamika

Salah satu parameter penting yang harus diperhatikan dalam pengujian hidrodinamika dengan menggunakan kolom gelembung pancaran ini adalah *tracer*, kecepatan jet dan rasio mol air/gliserol setara dengan rasio mol metanol/CPO dalam reaksi biodiesel, karena dapat mempengaruhi kondisi aliran fluida yang mengalir dalam kolom gelembung pancaran sehingga mempengaruhi besarnya kecepatan maksimum fluida yang mengalir di sepanjang kolom gelembung pancaran dan distribusi kecepatan (gradien kecepatan) yang terbentuk.

Sebelum dilakukan pengujian hidrodinamika pada kolom gelembung pancaran maka dilakukan *conditioning* terlebih dahulu, menggunakan air untuk pembilasan kolom untuk membesihkan kolom dari zat-zat sisa pengujian sebelumnya/kotoran yang dapat mengganggu dalam pengujian dan perolehan data.

Berdasarkan rencana penelitian yang telah disusun sebelumnya, proses uji hidrodinamika dilakukan pada kolom gelembung pancaran dengan variasi rasio mol air/gliserol setara rasio mol Metanol/CPO dan variasi kecepatan jet. Pada proses ini air dan gliserol di campurkan kemudian di berikan *glass beads* sebagai indikator untuk melihat fenomena dari kecepatan aliran sehingga dapat di lihat secara visual dan di masukkan dalam kolom dengan mengatur valve untuk memperoleh kecepatan yang di inginkan. Variasi rasio mol air:gliserol yang digunakan untuk mensimulasi reaksi biodiesel yaitu mengikuti variasi rasio mol untuk methanol:minyak seperti yang dilakukan pada penelitian (Karnanim, 2010) yaitu 6:1, 5:1 dan 4:1. Seperti yang diketahui rasio mol 3:1 merupakan rasio stokiometrik dari reaksi transesterifikasi biodiesel. Sedangkan rasio mol maksimum 6:1 merupakan rasio mol yang digunakan pada proses komersial dan merupakan rasio mol optimum yang lebih tinggi untuk meningkatkan konversi biodiesel yang tinggi sehingga menambah kebutuhan metanol dalam proses (Leung, 2010). Hal ini berdampak terhadap keekonomisan dari proses pembuatan biodiesel itu sendiri.

Pencampuran fluida berlangsung di dalam reaktor kolom gelembung sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Pompa mensirkulasi reaktan secara terus menerus, menyebabkan reaktan atau campuran tersebut teraduk dengan sendirinya tanpa perlu menggunakan pengaduk. Selain itu reaktor kolom gelembung pancaran ini tidak dilengkapi pengaduk sehingga panas yang terjadi pada reaktor kolom gelembung pancaran disebabkan gesekan sepanjang pipa di dalam kolom dan pompa.

Pada pengujian hidrodinamika untuk memperoleh gradien kecepatan/shear digunakan metode PIV dengan menggunakan kamera kecepatan tinggi dan perangkat lunak berupa *software PIV View1.7*, *Virtualdub* dan *Tecplot*. Pada map *Tecplot* bisa dibuat distribusi kecepatan dan distribusi gradien kecepatan. Harga *shear* (1/detik) yang diplot pada *software Tecplot* dipresentasikan dalam bentuk persamaan untuk gradient kecepatan, sebagai berikut:

$$\tau_{yx} = dVx/dy \quad (4.1)$$

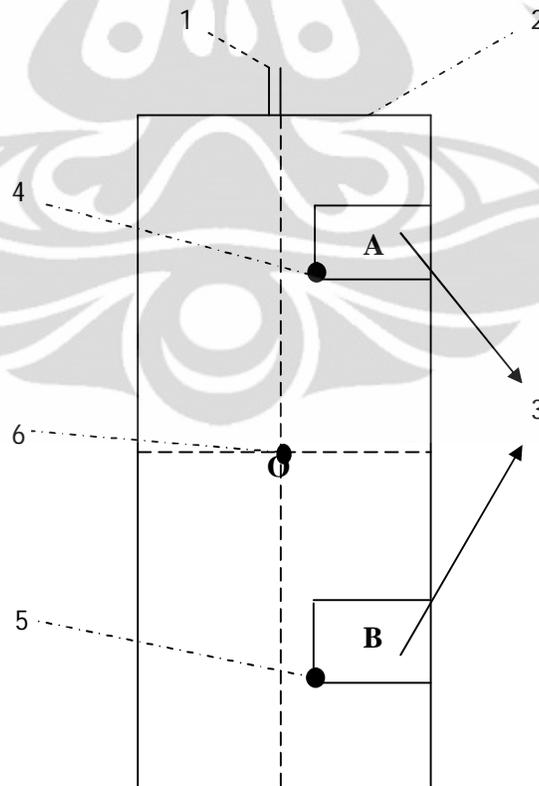
Di mana  $\tau_{yx} = \text{shear stress (1/detik)}$   
 $dV_x = \text{Perubahan kecepatan arah x (m/detik}^2\text{)}$   
 $dy = \text{Perubahan jarak (m)}$

Sedangkan harga *shear* yang sebenarnya menurut hukum Newton (Themeles):

$$\text{Shear stress} = \tau_{yx} = -\mu dV_x/dy \quad (4.2)$$

Di mana  $\tau_{yx} = \text{shear stress (Newton/m}^2\text{)}$   
 $\mu = \text{viskositas (kg/m.s)}$   
 $dV_x = \text{Perubahan kecepatan arah x (m/s}^2\text{)}$   
 $dy = \text{Perubahan jarak (m)}$

#### 4.2.1 Pengukuran Shear Pada Area A (dekat dari jet).



**Gambar 4.1** Daerah Pengambilan sampel dan kordinat titik Pengukuran

Keterangan Gambar 4.1:

A = Daerah dekat Jet

B = Daerah jauh dari jet

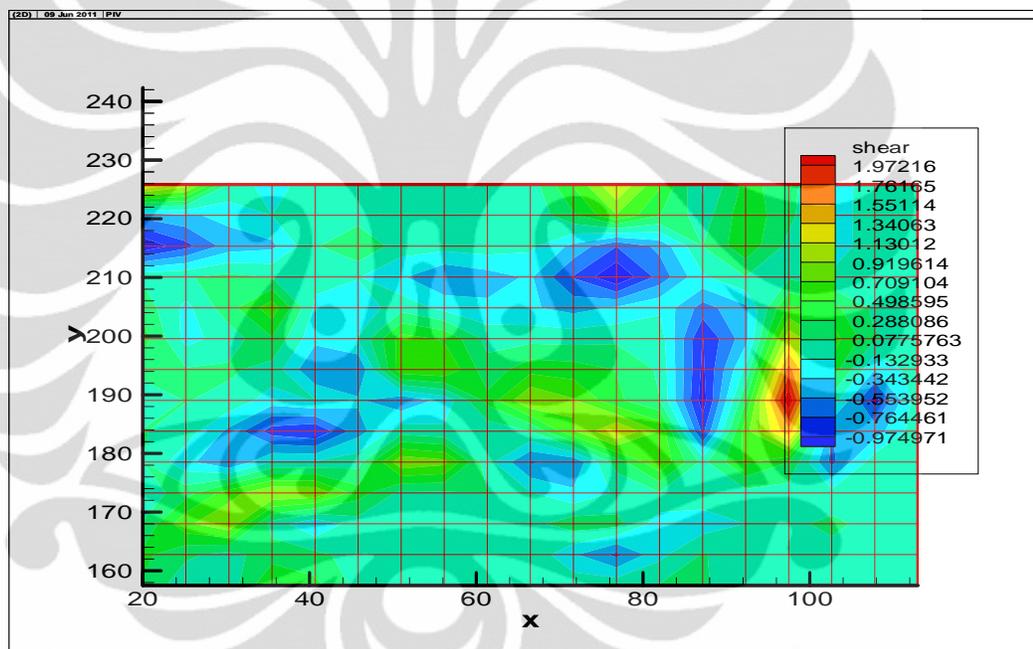
1. Jet tercelup
2. Batas jet tercelup
3. Daerah pengukuran yang dialiri sinar dari Laser
4. Titik koordinat pengukuran di area A
5. Titik koordinat pengukuran di area B
6. Titik koordinat O (0,0) mm

➤ **Fluida (air/gliserosol) dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1**

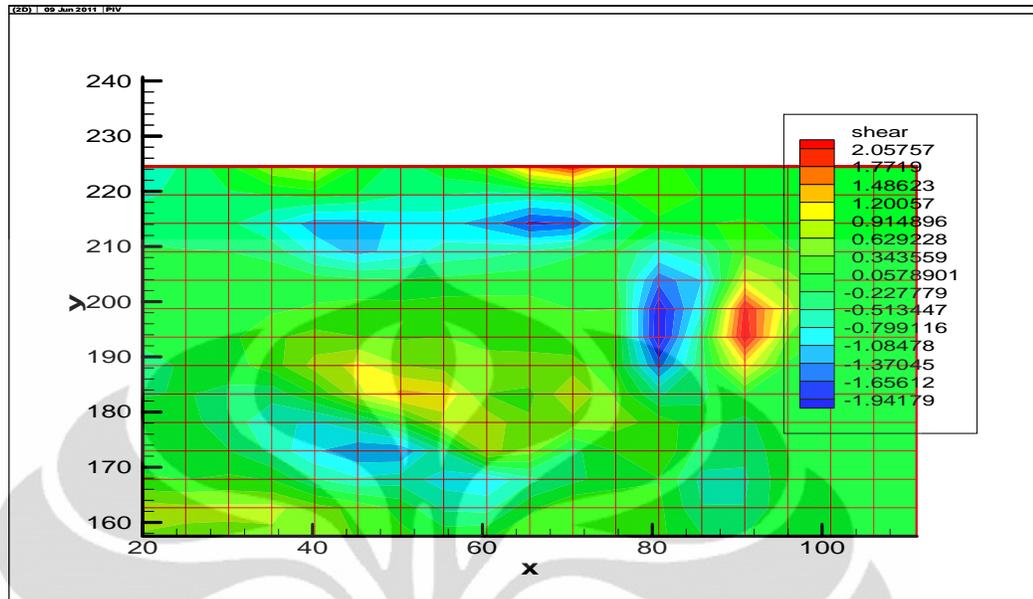
Pada penelitian ini, data diambil pada *interrogation field* 64x64 dan kecepatan kamera 800 *frame/seconds*. Gambar 4.2.1, pada koordinat titik x dan y = (20, 157,5) mm area A dengan kecepatan jet yang bervariasi, *Shears* yang terbentuk, berada pada beberapa titik dengan nilai yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.2.1 bagian (a) terlihat jelas bahwa *shears* yang terbentuk berkisar antara 1,97-(-0,97). Pada Gambar 4.2.1 bagian (b), *shears* berkisar antara 2,06-(-1,94), sedangkan dari Gambar 4.2.1 bagian (c), *shears* terbesar berkisar antara 15,89-(-15,11). Dari hasil *shears* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa pada rasio mol yang sama, kecepatan jet tinggi memberikan harga kisaran *shears* terbesar pada kecepatan jet 7,7 m/detik. Dapat dilihat pada Gambar 4.1, penetapan Koordinat titik yang digunakan untuk area A diperoleh berdasarkan penetapan terhadap koordinat O relatif pada titik (0,0) mm.

Dari Gambar 4.2.1 bagian (a) dan (b) diperoleh *shears* dengan rentang yang tidak begitu jauh, tapi pada Gambar 4.2.1 bagian (c), *shears* yang dihasilkan memiliki rentang sangat jauh/lebar karena fluida kental memberikan efek wall/dinding yang tinggi, terutama pada kecepatan jet yang tinggi. Selain itu semakin tinggi kecepatan jet maka kecepatan fluida akan semakin tinggi sehingga daerah di dekat jet semakin homogen dan efek wall/dinding yang tinggi memberikan suatu keuntungan sehingga *shear* lebih lebih tinggi dan homogen di seluruh area pengukuran. Pada Gambar 4.2.1 bagian (c) dapat dilihat untuk daerah yang homogen berkisar

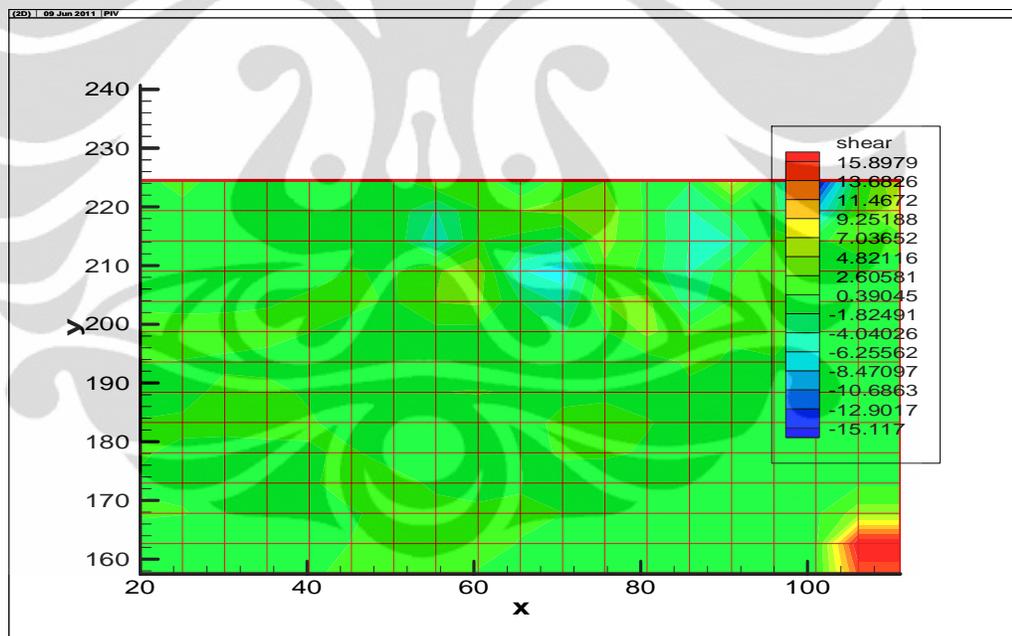
diantara *shears* 4,82-(-4,04). Tetapi bisa jadi pada Gambar 4.2.1 bagian (c), kisaran *shear* yang besar disebabkan adanya efek dari momentum dinding (gradien di dinding tinggi) dan bukan dari momentum jet karena semakin mendekati dinding yang berbeda gradiennya maka gradien kecepatan seolah-olah tertahan. Hal ini bisa jadi karena luas penampang kolom yang kecil. Pada penelitian ini ada dua efek yang terjadi yaitu: 1. Efek dari jet (momentum jet) dan 2. Efek dari dinding/wall (momentum dinding). Semakin tinggi jet, semakin besar efek dinding dan makin homogen harga *shear* di seluruh area pengukuran.



(a)



(b)



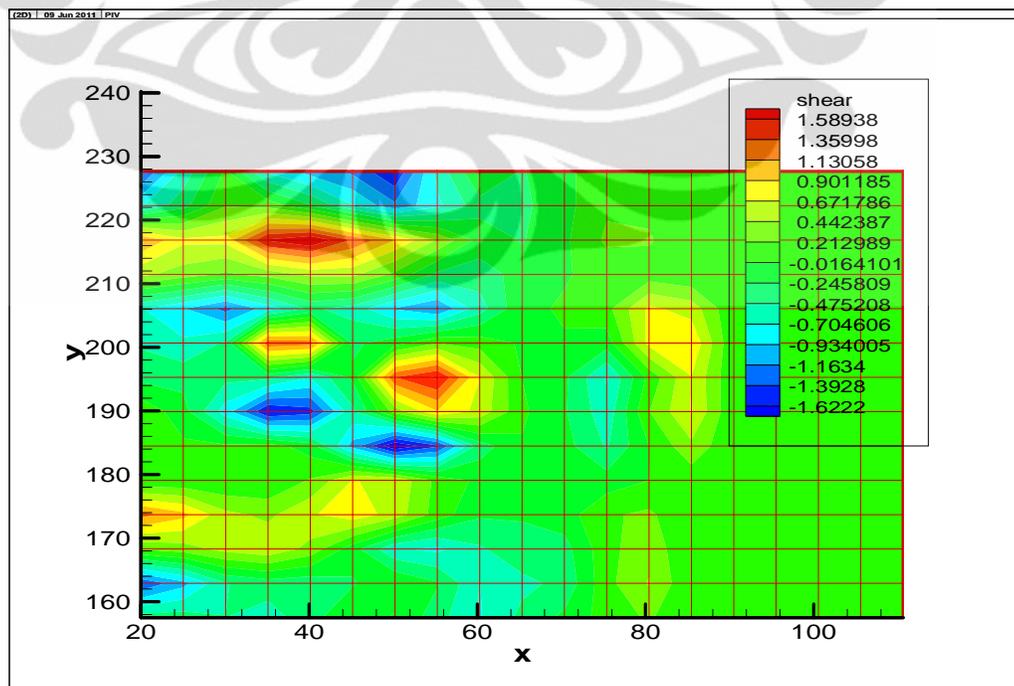
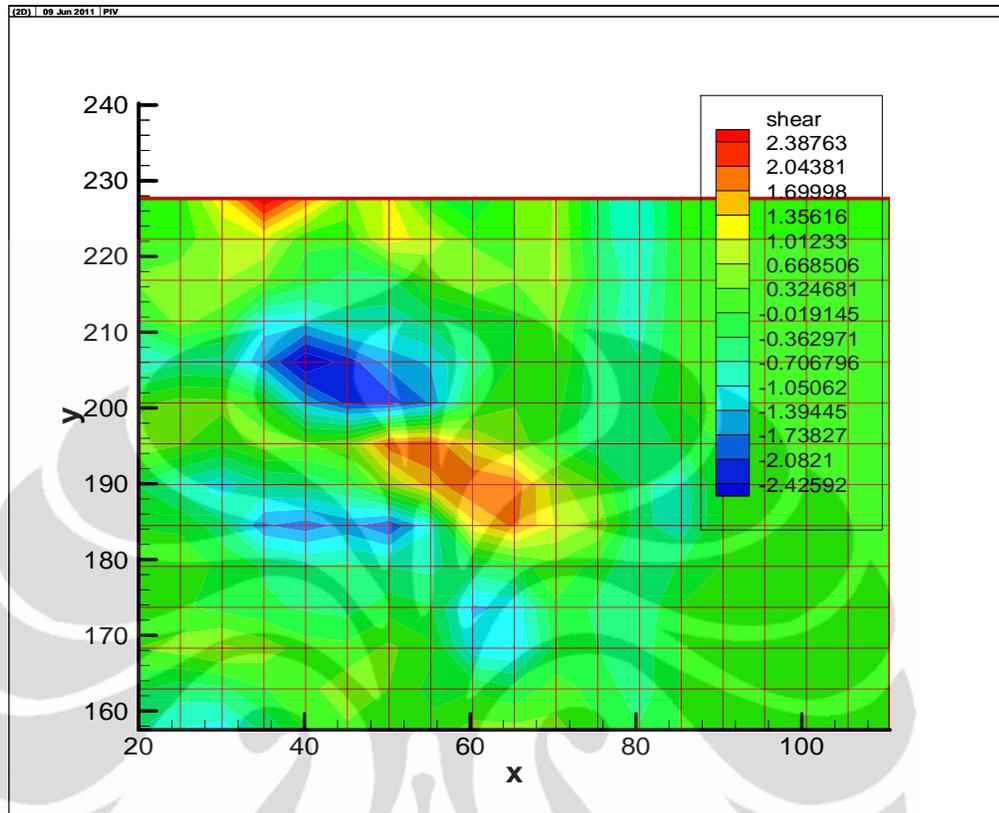
(c)

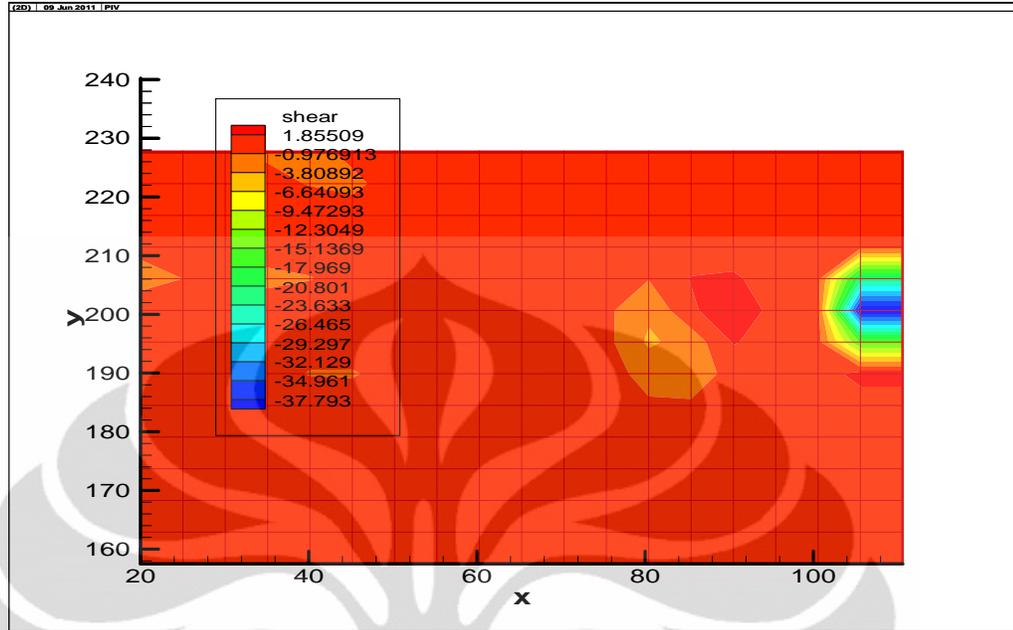
**Gambar 4.2.1** Hasil analisa *shear* (1/detik) Area A (dekat dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1 dengan koordinat titik (20,157,5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3,7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6,5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7,7 m/detik dengan metode *Particle Image Velocity* (PIV).

➤ **Fluida (air/gliserol) dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1**

Pada penelitian ini, data diambil pada *interrogation field* 64x64 dan kecepatan kamera 800 *frame/ seconds*. Dari Gambar 4.2.2, pada koordinat x dan y = (20, 157,5) mm area A dengan kecepatan jet yang bervariasi, *Shears* yang terbentuk, berada pada beberapa titik dengan nilai yang berbeda-beda. . Dari Gambar 4.2.2 bagian (a) terlihat jelas bahwa *shears* yang terbentuk berkisar antara 2,39-(-2,42). Pada Gambar 4.2.2 bagian (b), *shears* berkisar antara 1,59-(-1,62), sedangkan dari Gambar 4.2.2 bagian (c), *shears* terbesar berkisar antara 1,85-(-37.79). Dari hasil *shears* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa pada rasio mol yang sama, kecepatan jet semakin tinggi memberikan harga *shears* yang tidak teratur. Dapat dilihat pada Gambar 4.1, penetapan Koordinat titik yang digunakan untuk area A diperoleh berdasarkan penetapan terhadap koordinat O relatif pada titik (0,0) mm.

Dari Gambar 4.2.2 bagian (b), diperoleh kisaran *shears* yang lebih kecil dibandingkan pada Gambar 4.2.2 bagian (a), hal ini disebabkan adanya efek aliran yang berlawanan sehingga memberikan kisaran *shears* yang lebih kecil. Aliran berlawanan (atas ke bawah dan bawah ke atas) akan saling bertumbukkan satu dengan lainnya sehingga *energy/momentumnya* menjadi *loss*. Sedangkan pada Gambar 4.2.2 bagian (c) diperoleh hasil kisaran *shears* yang lebih besar dibandingkan pada bagian (b) dan lebih kecil dari bagian (a), hal ini terjadi karena efek dari dinding dan efek dari aliran yang berlawanan. Semakin tinggi kecepatan jet maka kecepatan fluida akan semakin tinggi sehingga daerah di dekat jet semakin homogen dan efek wall/dinding yang tinggi memberikan suatu keuntungan sehingga *shear* lebih tinggi dan homogen di seluruh area pengukuran, sedangkan dari aliran yang berlawanan memberikan efek tumbukkan sehingga energi/momentum yang terjadi menjadi *lost* dan menghasilkan *shears* yang lebih kecil.





(c)

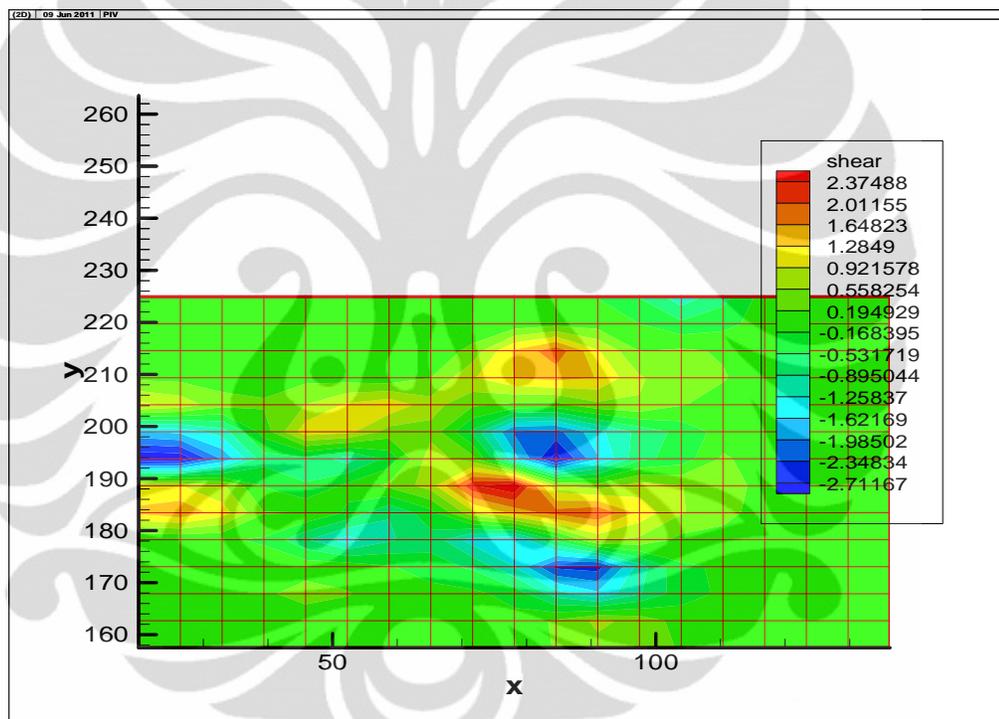
**Gambar 4.2.2** Hasil analisa *shear* (1/detik) Area A (dekat dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1 dengan koordinat titik (20,157,5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3,7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6,5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7,7 m/detik dengan metode *Particle Image Velocity* (PIV).

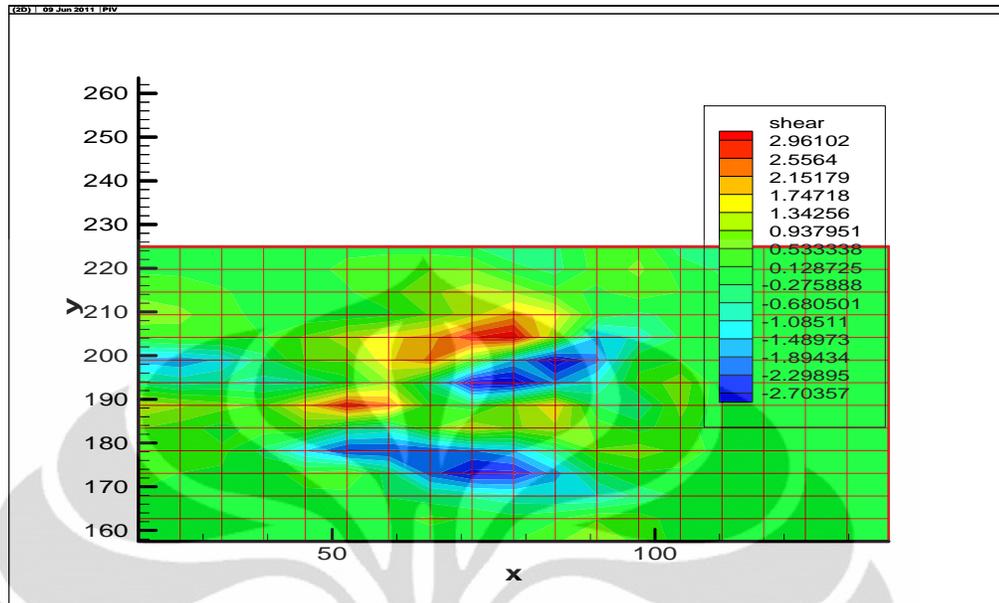
➤ **Fluida (air/gliserol) dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1**

Pada penelitian ini, data diambil pada *interrogation field* 64x64 dan kecepatan kamera 800 *frame/ seconds*. Selain itu dapat dilihat pada Gambar 4.1, penetapan Koordinat titik yang digunakan untuk area A diperoleh berdasarkan penetapan terhadap koordinat O relatif pada titik (0,0) mm. Gambar 4.2.3, pada koordinat titik x dan y = (20, 157,5) mm area A dengan kecepatan jet yang bervariasi, diperoleh *Shears* yang terbentuk, berada pada beberapa titik dengan nilai yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.2.3 bagian (a) terlihat jelas bahwa *shears* yang terbentuk berkisar antara 2,37-(-2,71). Pada Gambar 4.2.3 bagian (b), *shears* berkisar antara 2,96-(-2,7), sedangkan dari Gambar 4.2.3 bagian (c), *shears* terbesar berkisar antara 3,02-(-2,94). Dari hasil *shears* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa pada rasio mol yang sama,

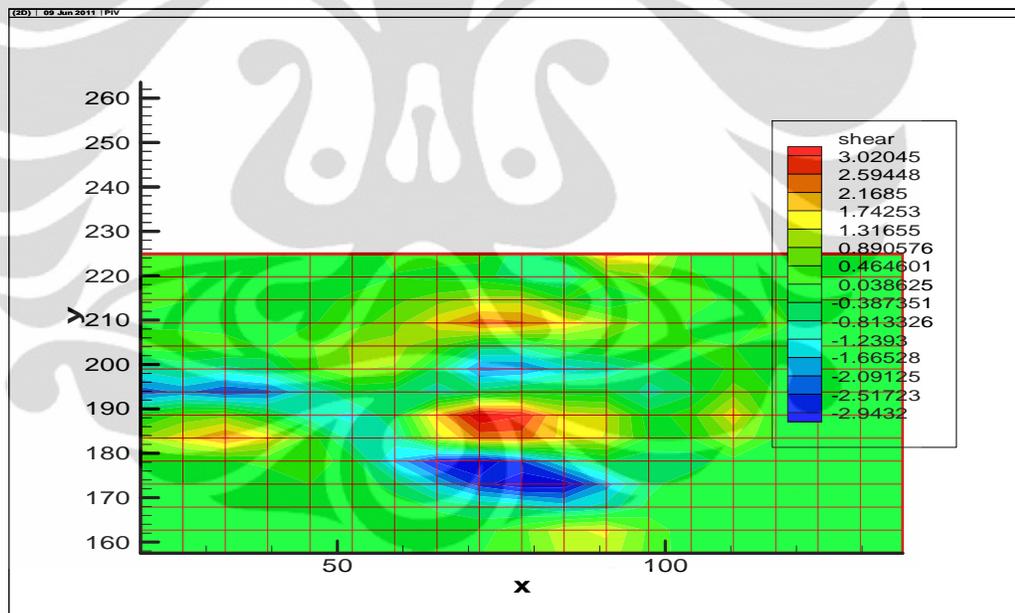
kecepatan jet tinggi memberikan harga kisaran *shears* terbesar pada kecepatan jet 7,7 m/detik.

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat dilihat bahwa *shears* memiliki efek keteraturan yang lebih baik dibandingkan pada fluida dengan rasio mol yang lebih kecil. Pada fluida dengan rasio mol lebih besar, *shears* lebih heterogen disetiap daerah pengukuran, efek keteraturan lebih baik sehingga *shears* lebih terbaca di daerah dekat jetnya dan efek momentum dari dinding lebih kecil.





(b)



(c)

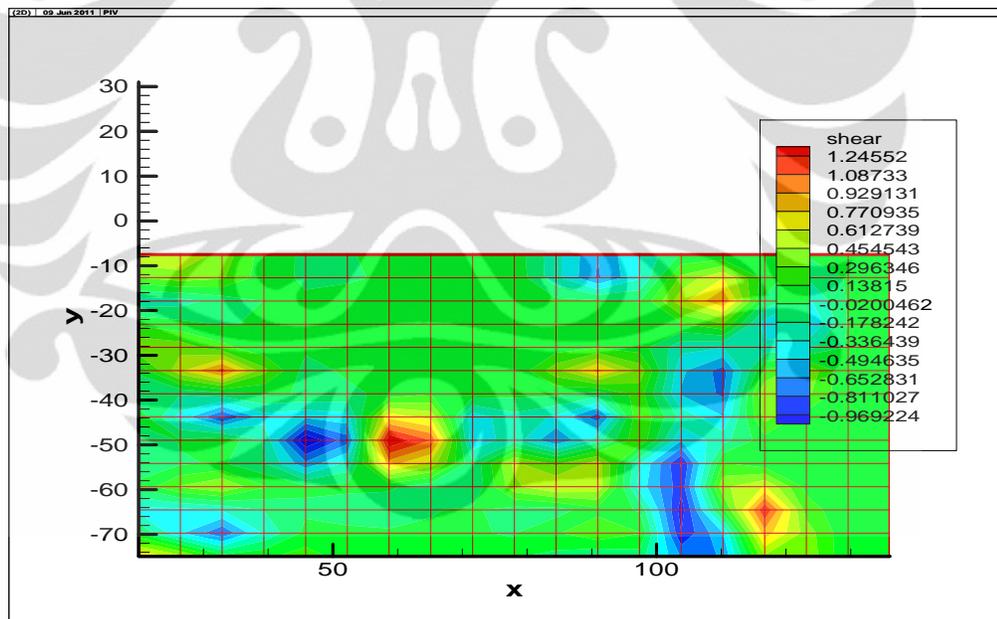
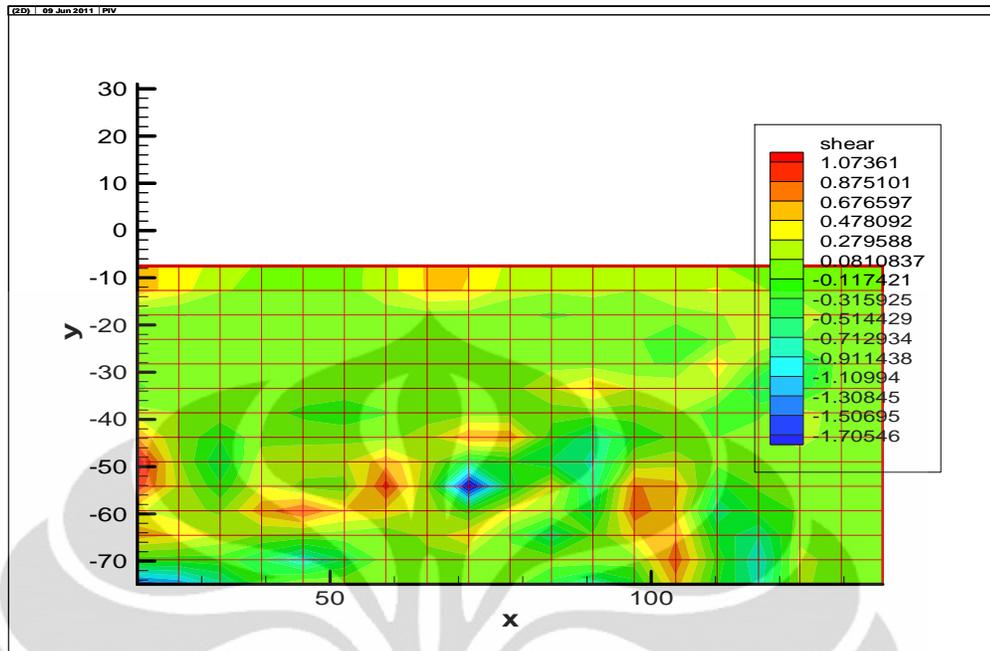
**Gambar 4.2.3** Hasil analisa *shear* (1/detik) Area A (dekat dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1 dengan koordinat titik (20,157,5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3,7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6,5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7,7 m/detik dengan metode *Particle Image Velocity* (PIV).

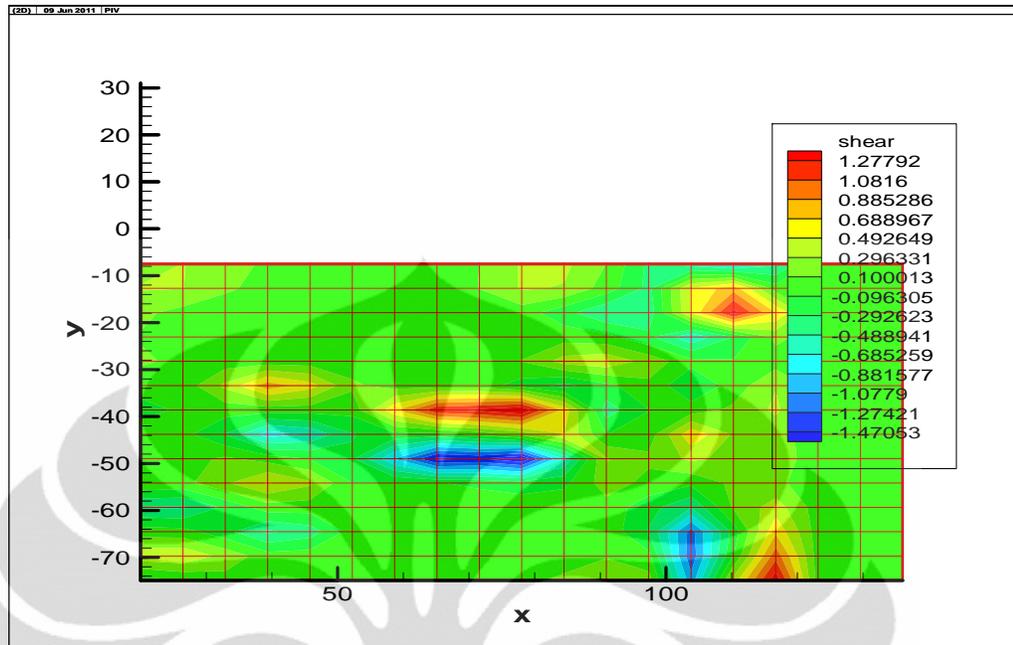
#### 4.2.2 Pengukuran Shear Pada Area B (Jauh dari jet).

##### ➤ Fluida (air/gliserol) dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1

Pada penelitian ini, data diambil pada *interrogation field* 64x64 dan kecepatan kamera 800 *frame/ seconds*. Selain itu dapat dilihat pada Gambar 4.1, penetapan Koordinat titik yang digunakan untuk area B diperoleh berdasarkan penetapan terhadap koordinat O relatif pada titik (0,0) mm. Dari Gambar 4.2.4, pada koordinat titik x dan y = (20, -7,5) mm area B dengan kecepatan jet yang bervariasi, diperoleh *Shears* yang terbentuk, berada pada beberapa titik dengan nilai yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.2.4 bagian (a) terlihat jelas bahwa *shears* yang terbentuk berkisar antara 1,07-(-1,7). Pada Gambar 4.2.4 bagian (b), *shears* berkisar antara 1,24-(-0,97), sedangkan dari Gambar 4.2.4 bagian (c), *shears* terbesar berkisar antara 1,28-(-1,47). Dari hasil *shears* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa pada rasio mol yang sama, kecepatan jet tinggi memberikan harga kisaran *shears* terbesar pada kecepatan jet 7,7 m/detik. Semakin besar kecepatan jet yang di berikan maka akan semakin besar pula *shear*/gesekan yang terjadi dalam fluida.

Pada area B, dapat terlihat efek jet lebih besar dibandingkan efek dari dinding maupun efek dari aliran yang berlawanan sehingga *shears* yang dihasilkan lebih besar. Tapi efek jet yang terdapat pada area B, memiliki momentum yang lebih kecil karena area ini jauh dari pancaran jet sehingga momentumnya lebih rendah dan *shears* lebih rendah, hal ini dapat dilihat pada area A, dari Gambar 4.2.1 terlihat hasil kisaran *shears* yang lebih besar dibandingkan dari Gambar 4.2.4 pada area B.





(c)

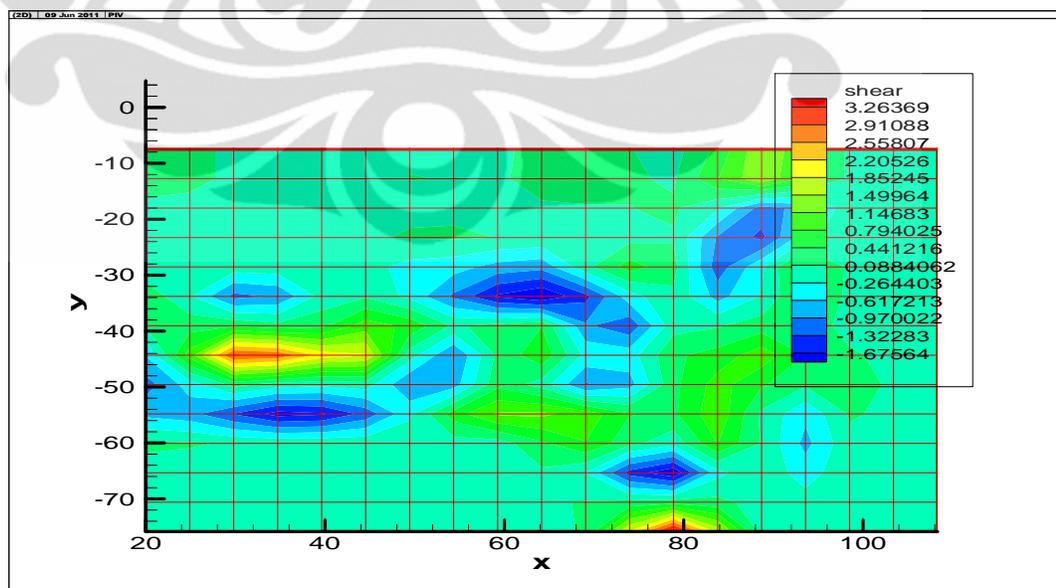
**Gambar 4.2.4** Hasil analisa *shear* (1/detik) Area B (Jauh dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1 dengan koordinat titik (20, -7,5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3,7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6,5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7,7 m/detik dengan metode *Particle Image Velocity* (PIV).

➤ **Fluida (air/gliserol) dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1**

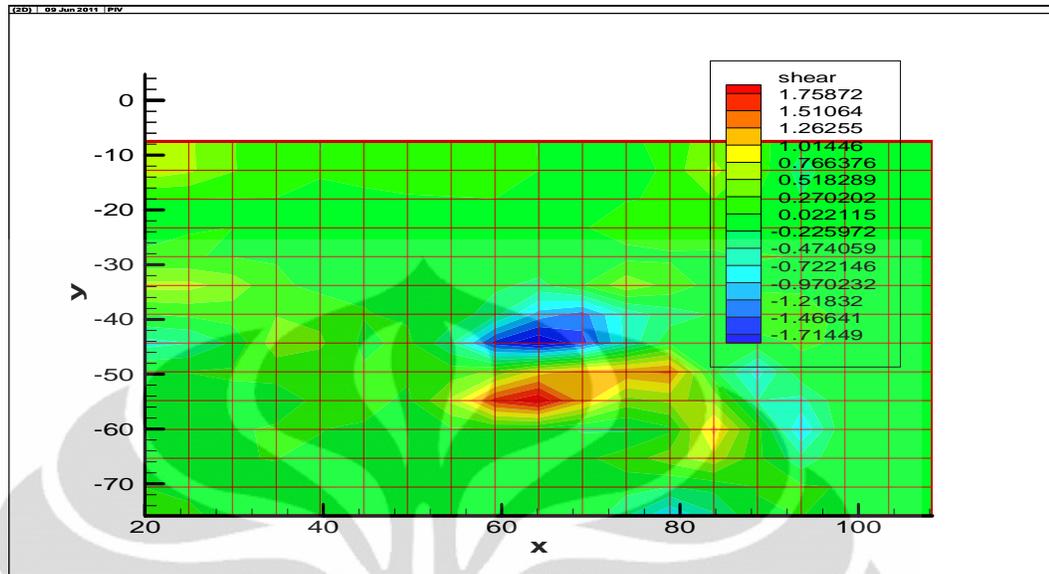
Pada penelitian ini, data diambil pada *interrogation field* 64x64 dan kecepatan kamera 800 *frame/ seconds*. Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 4.1, untuk penetapan Koordinat titik yang digunakan area B, diperoleh berdasarkan penetapan terhadap koordinat O relatif pada titik (0,0) mm. Dari Gambar 4.2.5, pada koordinat  $x$  dan  $y = (20, -7,5)$  mm area B dengan kecepatan jet yang bervariasi, diperoleh *Shears* yang terbentuk, berada pada beberapa titik dengan nilai yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.2.5 bagian (a) terlihat jelas bahwa *shears* yang terbentuk berkisar antara 3,26-(-1,67). Pada Gambar 4.2.5 bagian (b), *shears* berkisar antara 1,76-(-1,71), sedangkan dari Gambar 4.2.5 bagian (c), *shears* terbesar berkisar antara 1,87-(-1,85). Dari

hasil *shears* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa pada rasio mol yang sama, kecepatan jet semakin tinggi memberikan harga *shears* yang tidak teratur.

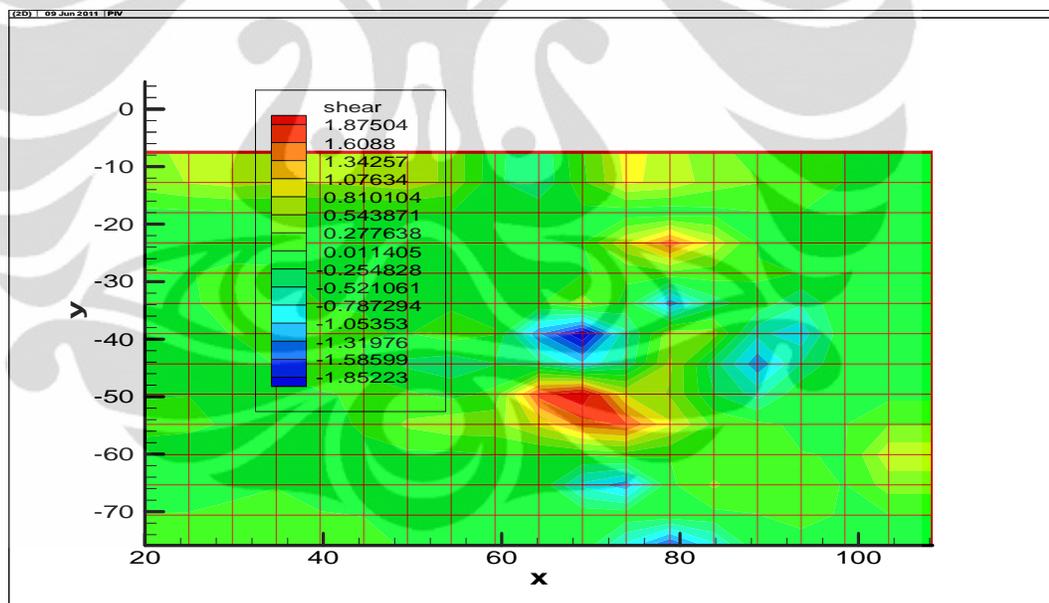
Dari Gambar 4.2.5 bagian (b), diperoleh kisaran *shears* yang lebih kecil dibandingkan pada Gambar 4.2.5 bagian (a), hal ini disebabkan adanya efek aliran yang berlawanan sehingga memberikan kisaran *shears* yang lebih kecil. Aliran berlawanan (atas ke bawah dan bawah ke atas) akan saling bertumbukkan satu dengan lainnya sehingga energy/momentumnya menjadi *loss*. Sedangkan pada Gambar 4.2.5 bagian (c) diperoleh hasil kisaran *shears* yang lebih besar dibandingkan pada bagian (b) dan lebih kecil dari bagian (a), hal ini terjadi karena efek dari dinding dan efek dari aliran yang berlawanan. Semakin tinggi kecepatan jet maka kecepatan fluida akan semakin tinggi sehingga daerah di dekat jet semakin homogen dan efek wall/dinding yang tinggi memberikan suatu keuntungan sehingga *shear* lebih tinggi dan homogen di seluruh area pengukuran, sedangkan dari aliran yang berlawanan memberikan efek tumbukkan sehingga energi/momentum yang terjadi menjadi *lost* dan menghasilkan *shears* yang lebih kecil. Pada area B memiliki momentum yang lebih kecil karena area ini jauh dari pancaran jet sehingga momentumnya lebih rendah dan *shears* lebih rendah.



(a)



(b)



(c)

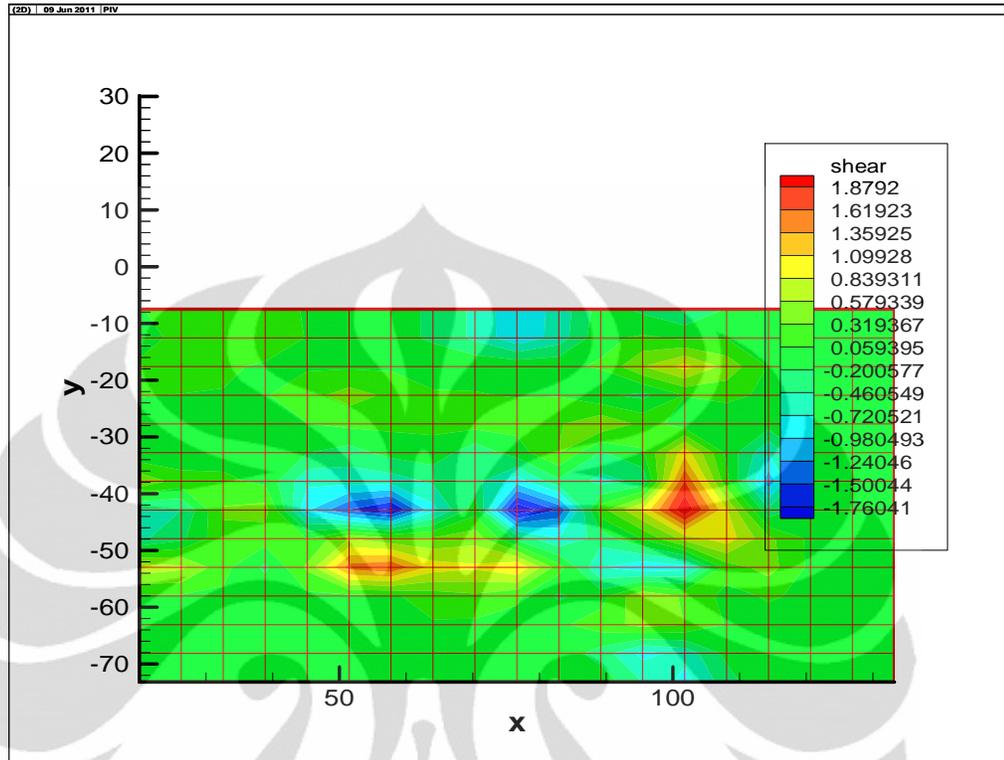
**Gambar 4.2.5** Hasil analisa *shear* (1/detik) Area B (Jauh dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1 dengan koordinat titik (20, -7,5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3,7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6,5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7,7 m/detik dengan metode *Particle Image Velocity* (PIV).

➤ **Fluida (air/gliserol) dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1**

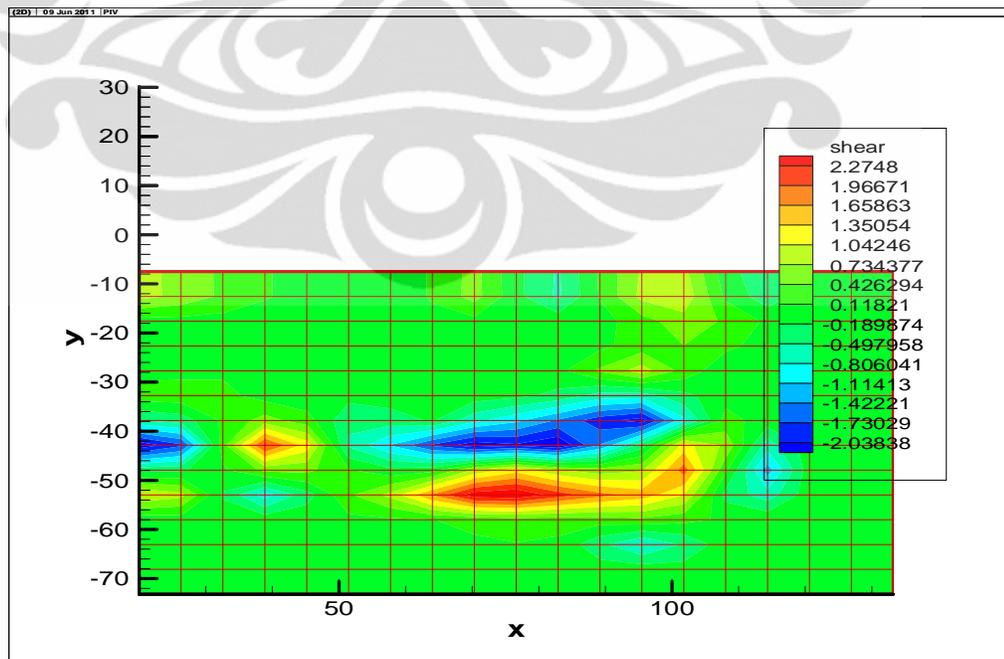
Pada penelitian ini, data diambil pada *interrogation field* 64x64 dan kecepatan kamera 800 *frame/ seconds*. Selain itu dapat dilihat pada Gambar 4.1, penetapan Koordinat titik yang digunakan untuk area B diperoleh berdasarkan penetapan terhadap koordinat O relatif pada titik (0,0) mm. Gambar 4.2.6, pada koordinat titik x dan y = (20, -7,5) mm area B dengan kecepatan jet yang bervariasi, diperoleh *Shears* yang terbentuk, berada pada beberapa titik dengan nilai yang berbeda-beda. Dari Gambar 4.2.6 bagian (a) terlihat jelas bahwa *shears* yang terbentuk berkisar antara 1,88-(-1,76). Pada Gambar 4.2.6 bagian (b), *shears* berkisar antara 2,27-(-2,04), sedangkan dari Gambar 4.2.6 bagian (c), *shears* terbesar berkisar antara 2,98-(-1,68). Dari hasil *shears* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa pada rasio mol yang sama, kecepatan jet tinggi memberikan harga kisaran *shears* terbesar pada kecepatan jet 7,7 m/detik.

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat dilihat bahwa *shears* memiliki efek keteraturan yang lebih baik dibandingkan pada fluida dengan rasio mol yang lebih kecil. Pada fluida dengan rasio mol lebih besar, *shears* lebih heterogen disetiap daerah pengukuran, efek keteraturan lebih baik sehingga *shears* lebih terbaca dan efek momentum dari dinding lebih kecil.

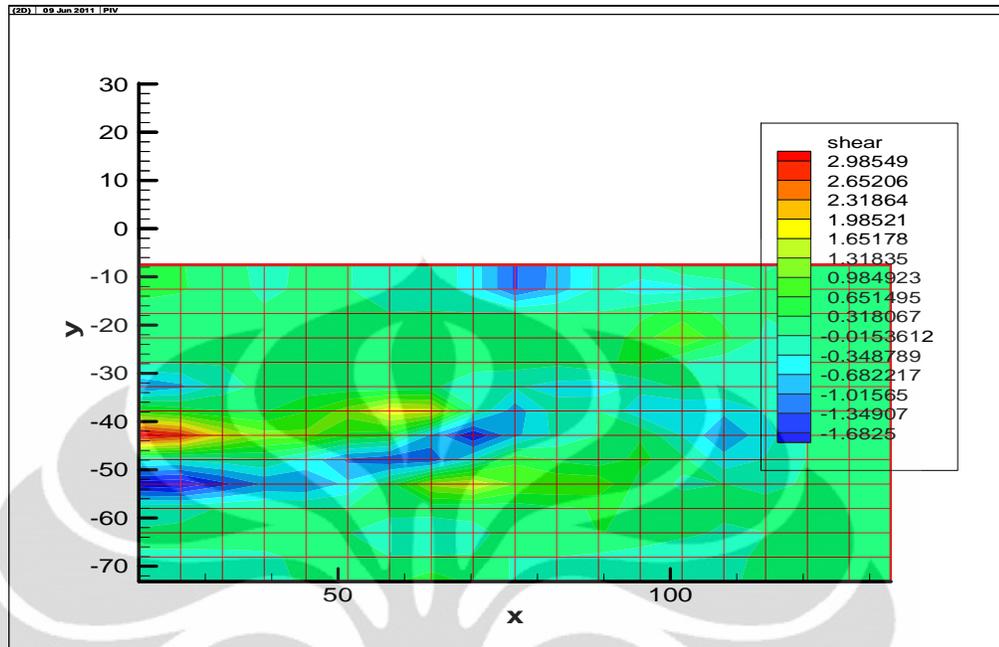
Pada area B, dapat terlihat efek jet lebih besar dibandingkan efek dari dinding maupun efek dari aliran yang berlawanan sehingga *shears* yang dihasilkan lebih besar. Tapi efek jet yang terdapat pada area B, memiliki momentum yang lebih kecil karena area ini jauh dari pancaran jet sehingga momentumnya lebih rendah dan *shears* lebih rendah, hal ini dapat dilihat pada area A, dari Gambar 4.2.3 terlihat hasil kisaran *shears* yang lebih besar dibandingkan dari Gambar 4.2.6 pada area B.



(a)



(b)



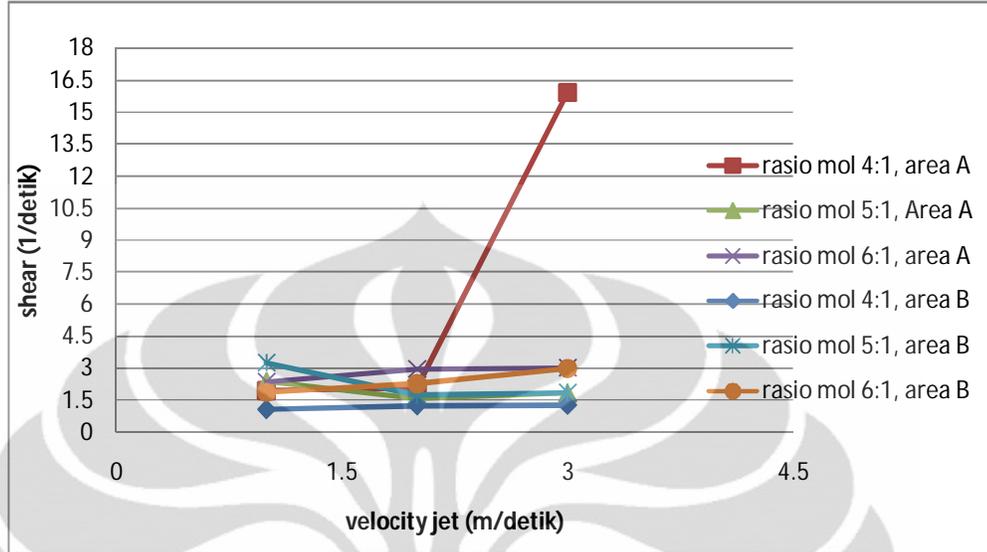
(c)

**Gambar 4.2.6** Hasil analisa *shear* (1/detik) Area B (Jauh dari jet) pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1 dengan koordinat titik (20, -7,5) mm. (a) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 3,7 m/detik, (b) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 6,5 m/detik dan (c) untuk kecepatan jet ( $v$ )= 7,7 m/detik dengan metode *Particle Image Velocity* (PIV).

Secara keseluruhan di buat kurva *shear* maksimum (1/detik) hasil uji hidrodinamika untuk setiap daerah pengukuran, kecepatan jet dan Fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO, dapat dilihat pada Tabel dan Gambar dibawah ini:

**Tabel 4.2.1** Shear maksimum terbesar pada kecepatan jet tertentu untuk area pengukuran yang berbeda.

v jet	Area A (dekat dari jet)			Area B (Jauh dari jet)		
	shear pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol methanol/CPO					
	4:1	5:1	6:1	4:1	5:1	6:1
3,7	1,97216	2,38763	2,37488	1,07361	3,26369	1,8792
6,5	2,05757	1,58938	2,96102	1,24552	1,75872	2,2748
7,7	15,8979	1,85509	3,02045	1,27792	1,87504	2,98549



**Gambar 4.2.7** Kurva Hubungan Kecepatan Jet (m/detik) vs Harga *Shear* Maksimum (1/detik) pada Kolom Gelembung Pancaran dengan Metode PIV.

Kemampuan dari kolom gelembung pancaran di batasi oleh koefisien perpindahan massanya. *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* (Nosratinia.dkk, 2010). Dengan analogi perpindahan massa dan momentum, dinyatakan bahwa hubungan antara bilangan Schmidt yang besar dengan tegangan geser  $\tau$  dinding adalah

$$\text{—} \quad (2.1)$$

Hubungan antara *Sherwood number* dengan koefisien perpindahan massa (Berger dan Hau, 1977):

$$\text{—} \quad (2.2)$$

Kita dapat menemukan sebuah hubungan antara *shear stress* dengan *Sherwood number*, yaitu:

$$\tau \sim Sh^3 \quad (2.3)$$

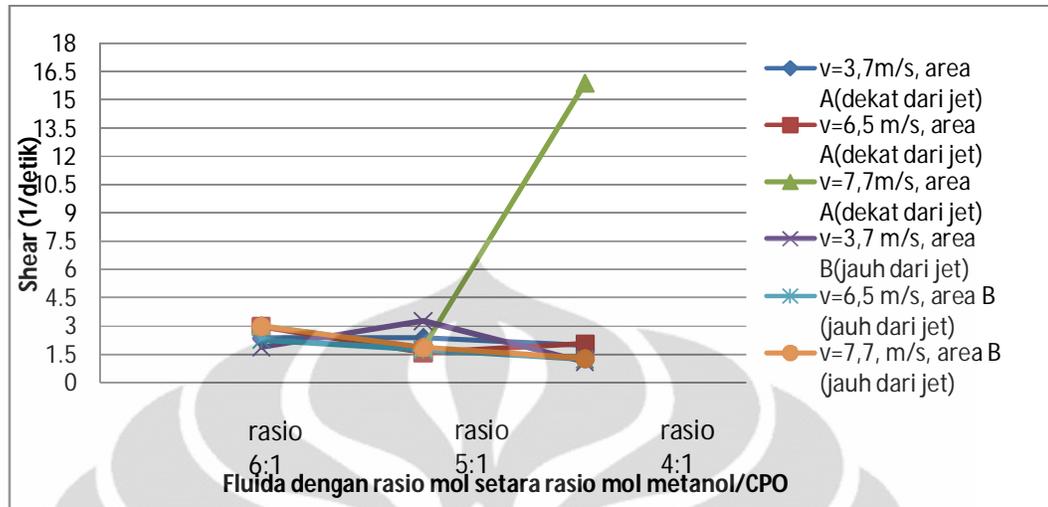
Dengan itu, berarti hubungan antara *shear stress* dengan koefisien perpindahan massa dapat dinyatakan bahwa *shear* berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa pangkat tiga.

$$\tau \sim K^3 \quad (2.4)$$

Koefisien perpindahan massa menyatakan besarnya perpindahan massa yang terjadi (Wang.dkk, 2002). Semakin tinggi koefisien perpindahan massa akan semakin tinggi pula perpindahan massa yang terjadi. Dari Gambar 4.2.7 dan Tabel 4.2.1,serta rujukan dari persamaan 4.3-4.6, dapat di lihat *shear* maksimum yang terbesar untuk area A dan untuk area B, di peroleh pada kecepatan 7.7 m/detik, semakin tinggi kecepatan jet maka pencampuran yang terjadi (*high mixing*) semakin tinggi dan *shear* yang terjadi semakin tinggi sehingga kinetika yang terjadi akan semakin tinggi juga.

**Tabel 4.2.2** Shear maksimum terbesar pada Fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO dan kecepatan jet tertentu untuk area yang berbeda.

rasio mol	Area A (dekat dari jet)			Area B (Jauh dari jet)		
	shear pada kecepatan jet					
	v=3,7m/s	v=6,5m/s	v=7,7m/s	v=3,7m/s	v=6,5m/s	v=7,7m/s
6:01	2,37488	2,96102	3,02045	1,8792	2,2748	2,98549
5:01	2,38763	1,58938	1,85509	3,26369	1,5872	1,87504
4:01	1,97216	2,05757	1,8979	1,07361	1,4552	1,27792



**Gambar 4.2.8** Kurva Hubungan Fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO Rasio vs Shear Maksimum (1/detik) pada Kolom Gelembung Pancaran dengan Metode PIV.

Pada Gambar 4.2.8 dan Tabel 4.2.2, secara keseluruhan untuk uji hidrodinamika dapat di lihat hasilnya yaitu pada fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO semakin besar (6:1) maka menghasilkan *shear* maksimum yang semakin besar, hal ini di sebabkan karena fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO semakin besar maka cairan akan semakin encer dan *shear* maksimum, lebih heterogen/lebih terbac di dekat jetnya sehingga efek dari momentum dinding yang terjadi lebih kecil dan *shear* maksimum yang dihasilkan lebih besar. Dari aspek hidrodinamika untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO yang lebih besar (6:1)/fluida encer lebih diinginkan karena memberikan hasil *shear* maksimum yang lebih besar karena dengan adanya *high shear* dapat meningkatkan konversi biodiesel, berdasarkan rujukan dari persamaan 4.4 sampai 4.6. Tetapi dengan rasio mol yang besar maka kebutuhan methanol akan semakin banyak sehingga berdampak pada ke ekonomian biodiesel itu sendiri. Sedangkan dari aspek kinetika konversi biodiesel diinginkan pada rasio mol lebih besar (reaksi stoikiometrik)/lebih kental sehingga keekonomian dari biodiesel lebih efisien dan produk lebih baik kualitasnya. Pada uji hidrodinamika dengan menggunakan metode PIV, *shear* di formulasikan seperti pada persamaan 4.1.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Pada area A (dekat dari jet) untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO = 4:1, diperoleh hasil semakin tinggi kecepatan jet, *shear* semakin tinggi sehingga semakin tinggi pula pencampuran yang terjadi (*high mixing*). *Shears* terbesar berkisar antara 15,89-(-15,11) pada kecepatan jet 7,7 m/s. Tetapi rentang *shear* pada kecepatan jet 7,7 m/s memiliki rentang sangat lebar dibandingkan untuk kecepatan jet 3,7 dan 6,5 m/s. Hal ini disebabkan adanya pengaruh dari efek dinding/momentum dinding.
2. Pada area A (dekat dari jet) untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO = 5:1, diperoleh hasil *shear* yang naik turun (tidak stabil) pada saat kecepatan jet diperbesar. Tetapi pada kecepatan jet 7,7 m/s *shears* meningkat berkisar antara 1,86-(-37,79), hal ini disebabkan adanya efek dinding, karena *shears* makin besar dari tengah ke dinding sehingga memberikan *shears* maksimum yang besar.
3. Pada area A (dekat dari jet) untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO = 6:1, diperoleh hasil semakin tinggi kecepatan jet, *shear* semakin tinggi sehingga semakin tinggi pula pencampuran yang terjadi (*high mixing*) dan memiliki efek keteraturan pada nilai *shears* yang lebih baik dibandingkan dengan fluida yang memiliki rasio mol lebih kecil. *Shears* terbesar berkisar antara 3,02-(-2,94) pada kecepatan jet 7,7 m/s
4. Pada area B (jauh dari jet) untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO = 4:1, diperoleh hasil semakin tinggi kecepatan jet, *shear* semakin tinggi sehingga semakin tinggi pula pencampuran yang terjadi (*high mixing*). *Shears* terbesar berkisar antara 1,27-(-1,47) pada kecepatan jet 7,7 m/s
5. Pada area B (jauh dari jet) untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO = 5:1, diperoleh hasil *shear* yang naik turun (tidak stabil)

pada saat kecepatan jet diperbesar. Tetapi pada kecepatan jet 7,7 m/s *shears* meningkat berkisar antara 1,87-(-1,85), hal ini disebabkan adanya efek dinding, karena *shears* makin besar dari tengah ke dinding sehingga memberikan *shears* maksimum yang besar.

6. Pada area B (jauh dari jet) untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO = 6:1, diperoleh hasil semakin tinggi kecepatan jet, *shear* semakin tinggi sehingga semakin tinggi pula pencampuran yang terjadi (*high mixing*) dan memiliki efek keteraturan pada nilai *shears* yang lebih baik dibandingkan dengan fluida yang memiliki rasio mol lebih kecil. *Shears* terbesar berkisar antara 2,98-(-1,68) pada kecepatan jet 7,7 m/s.

## 5.2 Saran

Sementara itu, beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah:

1. Pada penelitian ini ada tiga efek yang terjadi yaitu efek kecepatan jet, efek dinding dan efek *counter flow*. Untuk mengisolasi efek kecepatan jet dari efek dinding, maka lebar kolom harus diperbesar sedangkan untuk mengisolasi efek kecepatan jet dari efek *counter flow*, maka tinggi kolom diperpanjang.
2. Dalam penggunaan *glass beads* sebagai indikator kecepatan harus diperhatikan ukuran *glass beads* dan kekuatan laser yang digunakan karena sangat berpengaruh dalam seberapa besar/kuat *glass beads* tersebut, dapat merefleksikan sinar/cahaya yang diberikan oleh laser. *Glass beads* semakin kecil dan homogen, cahaya laser cukup kuat maka semakin baik *glass beads* dalam merefleksikan sinar dan *image* yang dihasilkan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

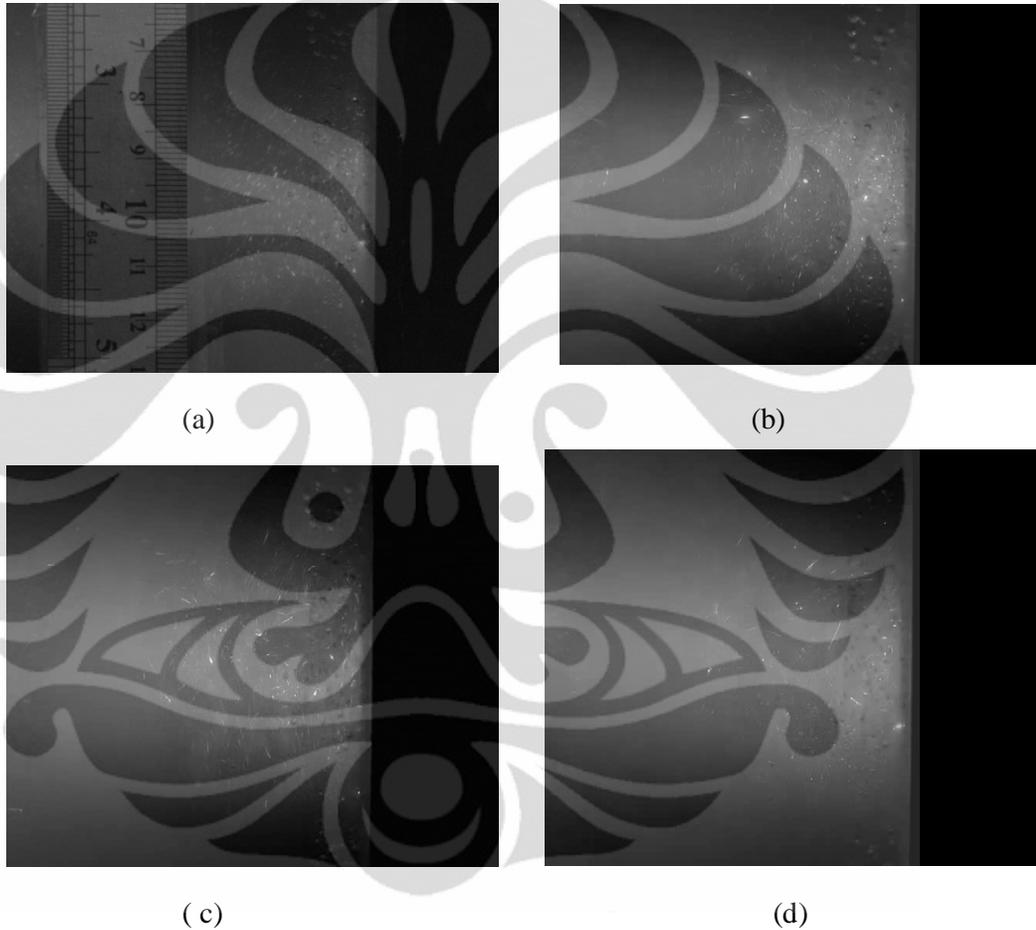
- Berger, F. P. & Hau, K.-F. F.-L. (1977). *Mass Transfer in Turbulent Pipe Flow Measured by Electrochemical Method*, Int. J. Heat Mass Transfer, 20, 1185
- Bondioli, P. et al. (2003). *Biodiesel stability Under Commercial storage Conditions Over One year*. Eur.J.Lipid Sci. Technol.105:35-741
- Budiman, arif. *Handout Rheology*.
- Chiu C.W; Schumacher; Suppes. (2004). *Impact of Cold Flow improves on soybean biodiesel blend*. Biomass. Bionerg.27:485-491
- Cramers,P; dan Selinger,C. (2002). *Advanced Hydrogenation technology for fine chemical and Pharmaceutical applications*. Pharma Chem
- Cummings, P.D, Chanson. H. (1999). *An experimental study of individual air bubble entrainment at a planar plunging Jet*. Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE, Vol 77 Part A, March 1999, p 159
- El Din, M.G; dan Smith, D.W. (2000). *Maximazing Enhanced Ozone Oxidation of Pulp mill Effluents*. Intern project report for sustainable Forest Management network. University of Alberta
- Evans, G. M. *Submerged jet expansion and bubble generation*, Chapter 5 page 107-157.
- Evans, G. M. (1990). *A Study Of A Plunging Jet Bubble Column*. Dept. of Chemical. Eng. The university of Newcastle.
- Griskey. 2002. *Transport Phenomena and Unit Operation*. Canada.
- Hancsok J; Bubalik M; Beck A; Baladinez J. (2008). *Development of Multifunctional Additives Based on Vegetable Oil or High Quality Diesel and Biodeisel*. Chem. Eng. Res. Des. 86:793-799.
- <http://www.jpiv.vennemann-online.de/introduction.html>
- <http://www.piv.de/piv/index.php>
- <http://id.wikipedia.org/lensa cekung-cembung>
- <http://www.holomap.com/dpiv.htm>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Particle\\_image\\_velocimetry](http://en.wikipedia.org/wiki/Particle_image_velocimetry)

- Ide, Mitsuharu, et al. (2001). *Mass Transfer Characteristics in Gas Bubble Dispersed Phase Generated by Plunging Jet Containing Small Solute Bubbles*. J. Chem. Eng. Sci., 56, hal. 62525-6231.
- Ito, Akira, et al. (2000). *Maximum Penetration Dept of Air Bubbles Entrained by Vertical Liquid Jet*. Journal of Chem. Eng. Japan., Vol. 33, No.6.
- Knothe, Gerhard. 2005. *The Biodiesel Handbook*. USA, AOCS Press. Hal 1-2
- Lee, S and Tsui, P. (1998). *Succed at Gas/Liquid Contacting*. Journal American Institute of Chemical Engineering.
- Milenkovic, R., Sigg, B. & Yadigaroglu, G. (2005). *Study of periodically excited bubbly jets by PIV and double optical sensors*, International Journal of Heat and Fluid Flow 26 (2005).
- Mitlebach, M; Remschmidt, Claudia. (2004). *Biodisel the Comprehensive handbook*. Vienna:Boersedruck Ges.m.bH
- Moppett G.D.et al. (1995). *Oxgenator for waste Water Treatment using a Stationary Bubble Cloud in a down-Flowing Liquid*. Instn.Chem.Eng.73,685-689
- Moser, Bryan. (2009). *Biodiesel Production, properties, and feedstocks*. In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant 2009, 45:229-266
- Nosratinia, F., Omidkhah, M. R., Bastani, D. & Saifkordi, A. A. (2010). *Investigation of Mass Transfer Coefficient under Jetting Conditions in a Liquid-Liquid Extraction System*, Iran. J. Chem. Chem. Eng. Vol. 29, No. 1, 2010.
- Reiss, L. P. & Hanratty, T. Z. (1963). *An Experimental Study of the Unsteady Nature of the Viscous Sublayer*, AIChE J., 8, 154
- Setiadi; Supramono, Dijan; Karnanim (2010). *Sintesis Biodiesel Dari Bahan Baku Minyak Sawit Menggunakan Reaktor Jet Bubble Column*, Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, 2010
- Setiadi; Tania H, Nita; Hantizen, Supramono, Dijan (2008). *Studi absorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan kolom gelembung berpancaran jet (jet bubble column)*, Makara Seri Teknologi Volume 12 April 2008 Nomor 1
- Soerawidjaja, Tatang H. (2006). *Fondasi-fondasi Ilmiah dan Keteknikan dari Teknologi Pembuatan Biodiesel*. Handout Seminar Nasional "Biodiesel Sebagai Energi Alternatif Masa Depan" UGM Yogyakarta
- Sommerfeld, M. & Broder, D. (2009). *Analysis of Hydrodynamics and Microstructure in a Bubble Column by Planar Shadow Image Velocimetry*. Ind. Eng. Chem. Es.48, 330-340.

- Supramono, D. & Setiadi. (2011). *Pemanfaatan High Shear pada Jet Bubble Column untuk Meningkatkan Efisiensi Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO)*, Hibah Riset Strategis Nasional Tahun 2011
- Supramono, Dijan; Setiadi; Wijaya, Venessia; Sukirno (2009). *Empirical Formulation of the Performance of CO<sub>2</sub> Absorption Process by KOH Solution in Bubble Jet Column*, SNTKI, ITB, Bandung.
- Tania, Nita Hadiyani (2007). *Penentuan luas kontak antar fasa gas-cair dan distribusi gelembung dalam sistem jet bubble column untuk absorpsi CO<sub>2</sub>*. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Themeles, J.Nicholas. Transport and Chemical Rate Phenomena. Dept. of Chemical. Eng. Material Science and Mining Engineering Columbia University in The City of New York.
- Waghmare, Y. et al. (2009). *Bubble Size Distribution for A Bubble Column Reactor Undergoing Forced Oscillation*. Ind. Eng. Chem. Res. 48, 1786-1796.
- Wang, H., Hong, T., Cai, J. Y. & Jepson, W. P. (2002). *Enhanced Mass Transfer And Wall Shear Stress In Multiphase Slug Flow*, Corrosion 2002, Paper No. 02501
- Wijaya, Vanessa. (2008). *Formulasi Model Empirik dan Uji Kinerja Kolom Gelembung Pancaran Untuk Absorpsi CO<sub>2</sub>*. Skripsi Sarjana. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- www.google.com. *Clearinghouse energy Terbarukan dan konservasi-Biodiesel*. Akses 5 Oktober 2010.
- YM, Choo.et al. (1994). *Production of Palm Oil Metil Esters and Its Use as diesel Substitute*. Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM)
- Zandy, Agustinus. dkk. (2007). *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*. Institut Teknologi Bandung dan PT. Rekayasa Industri. [http:// www.migas-indonesia.com /pdf](http://www.migas-indonesia.com/pdf). Akses tanggal 22 November 2010

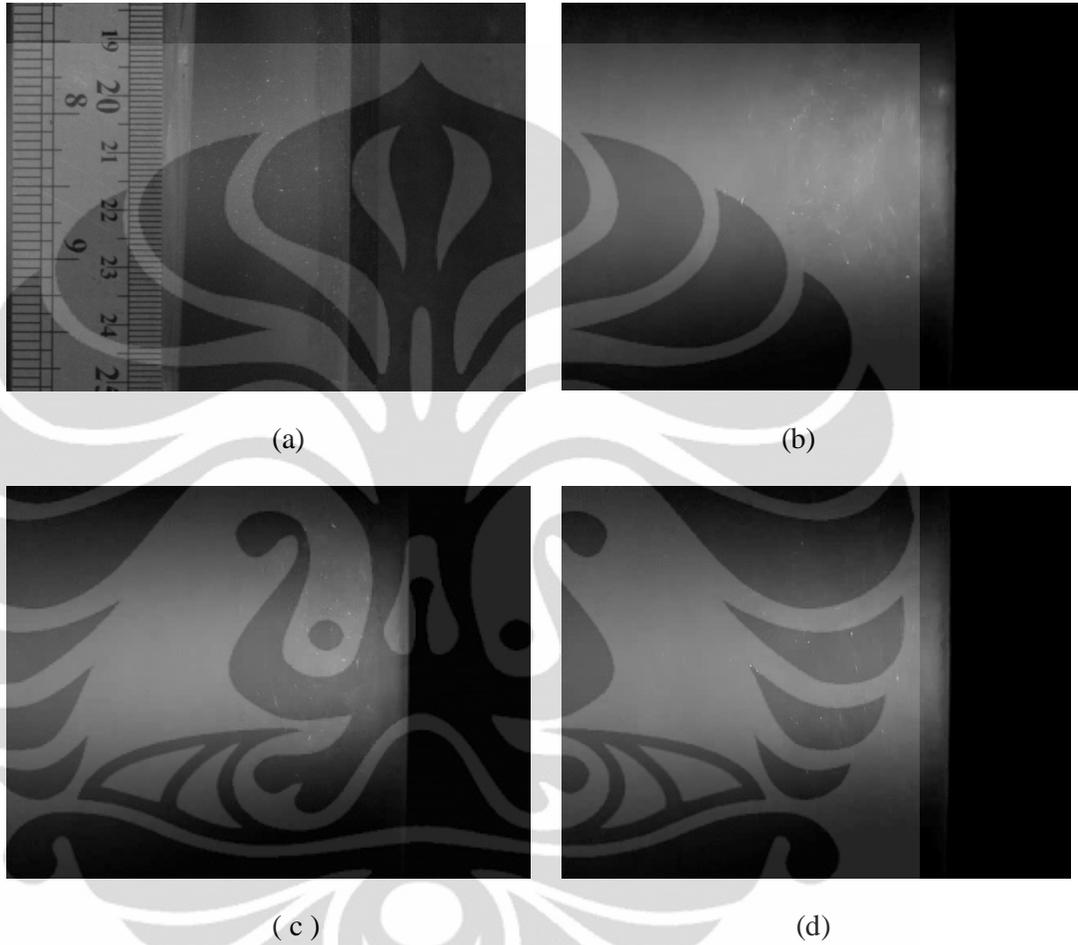
## LAMPIRAN

### Lampiran 1



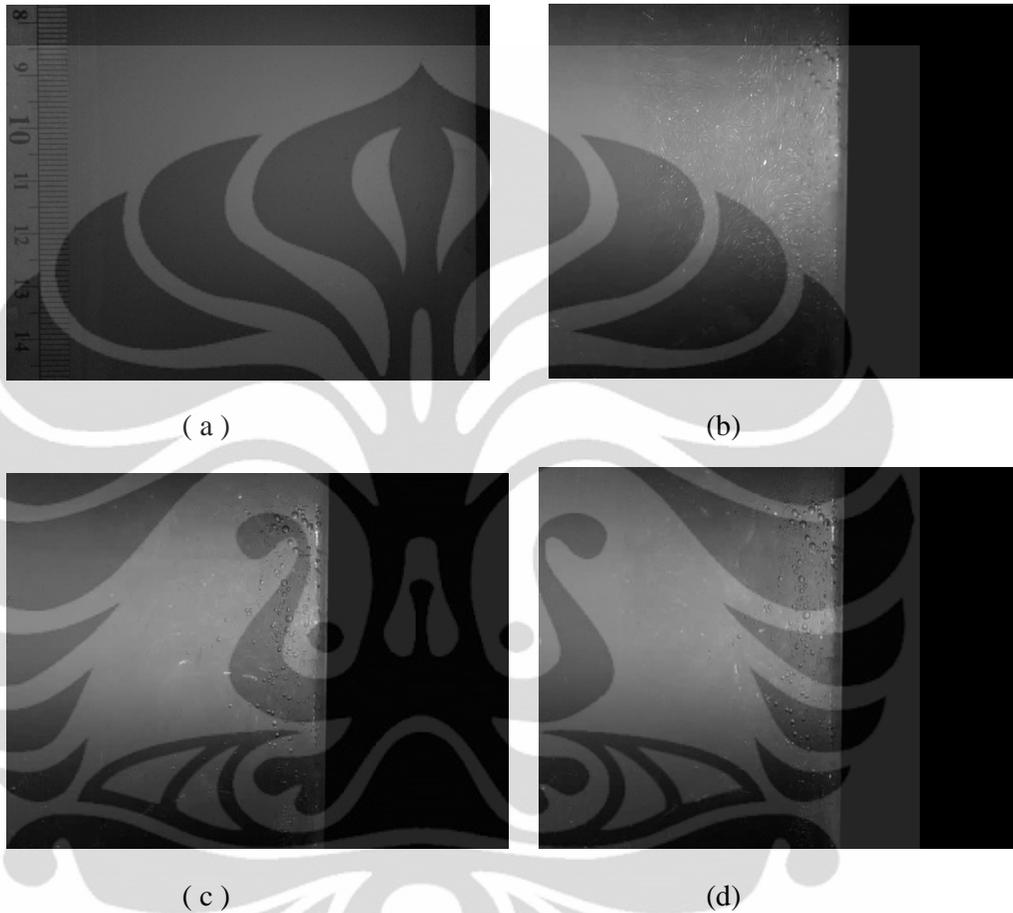
**Gambar L.1** (a) Kalibrasi gambar (b)  $v_{jet} = 3,7$  m/s (c)  $v_{jet} = 6,5$  m/s dan (d)  $v_{jet} = 7,7$  m/s dengan *software virtualdub* pada kolom gelembung pancaran untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1 pada area A.

Lampiran 2



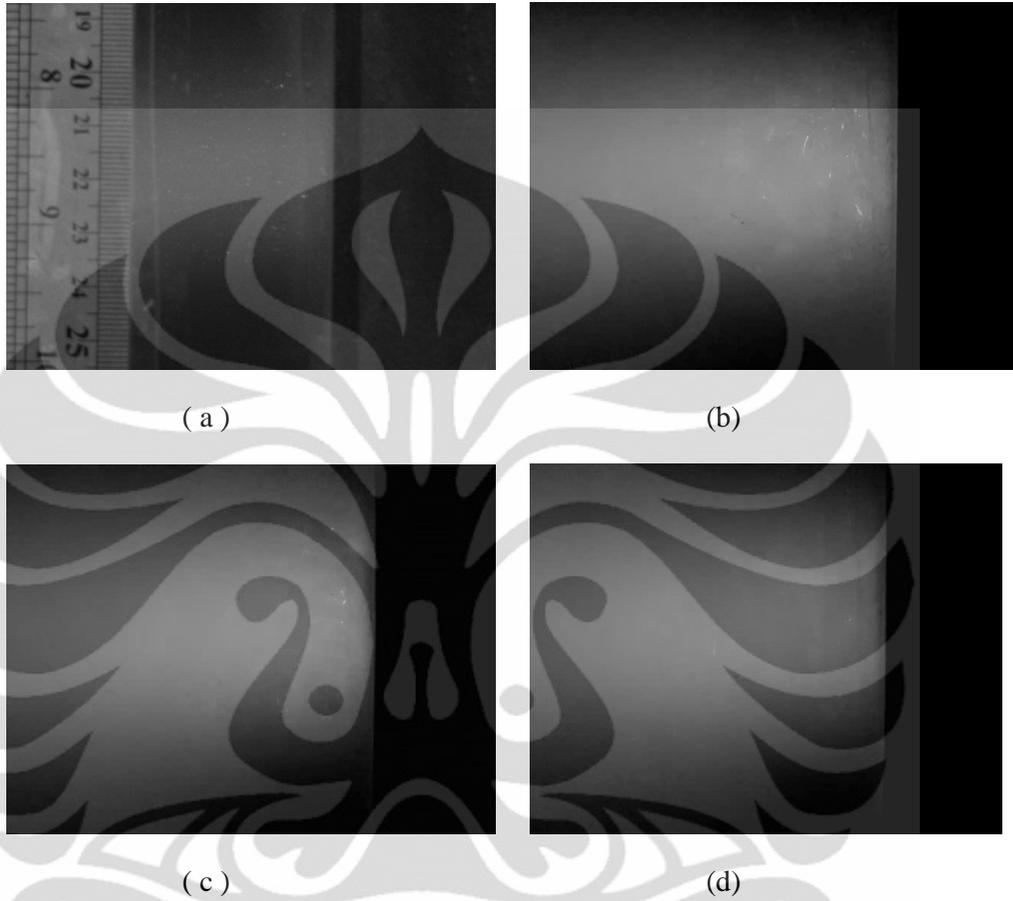
**Gambar L.2** (a) Kalibrasi gambar (b)  $v_{jet} = 3,7$  m/s (c)  $v_{jet} = 6,5$  m/s dan (d)  $v_{jet} = 7,7$  m/s dengan *software virtualdub* pada kolom gelembung pancaran untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 4:1 pada area B.

Lampiran 3



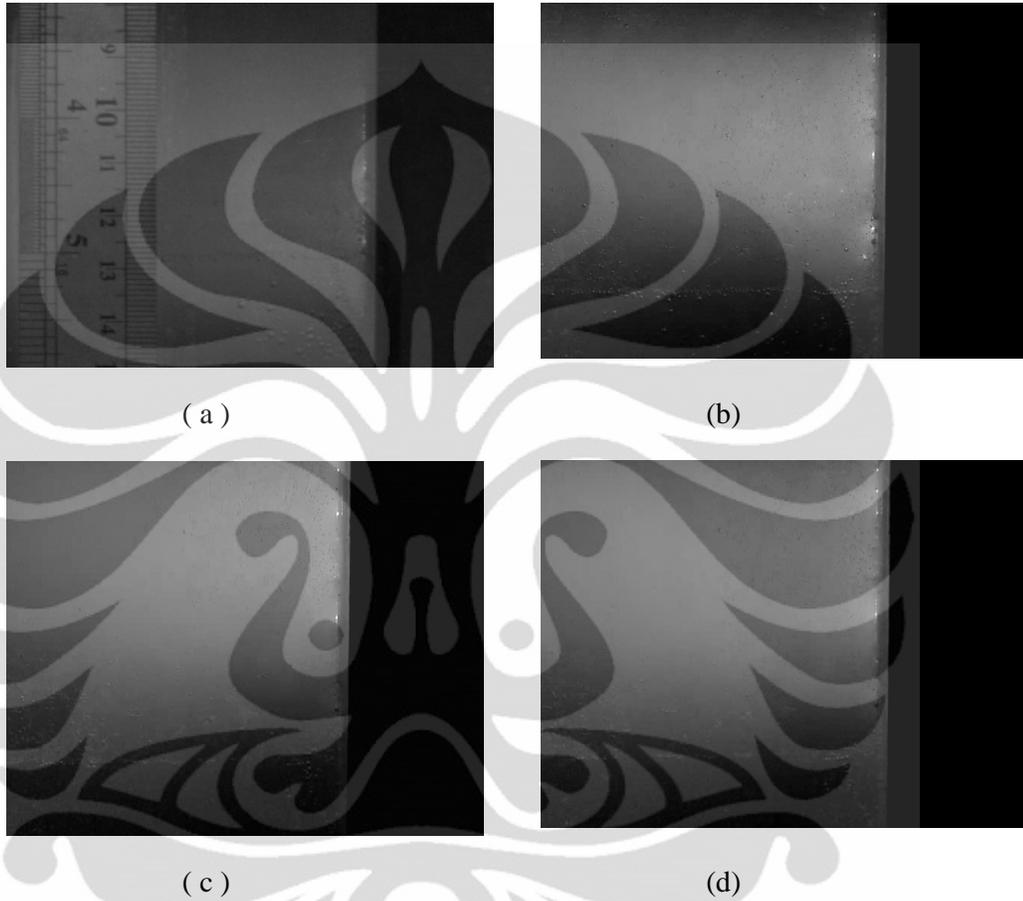
**Gambar L.3** (a) Kalibrasi gambar (b)  $v_{jet} = 3,7$  m/s (c)  $v_{jet} = 6,5$  m/s dan (d)  $v_{jet} = 7,7$  m/s dengan *software virtualdub* pada kolom gelembung pancaran untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1 pada area A.

Lampiran 4



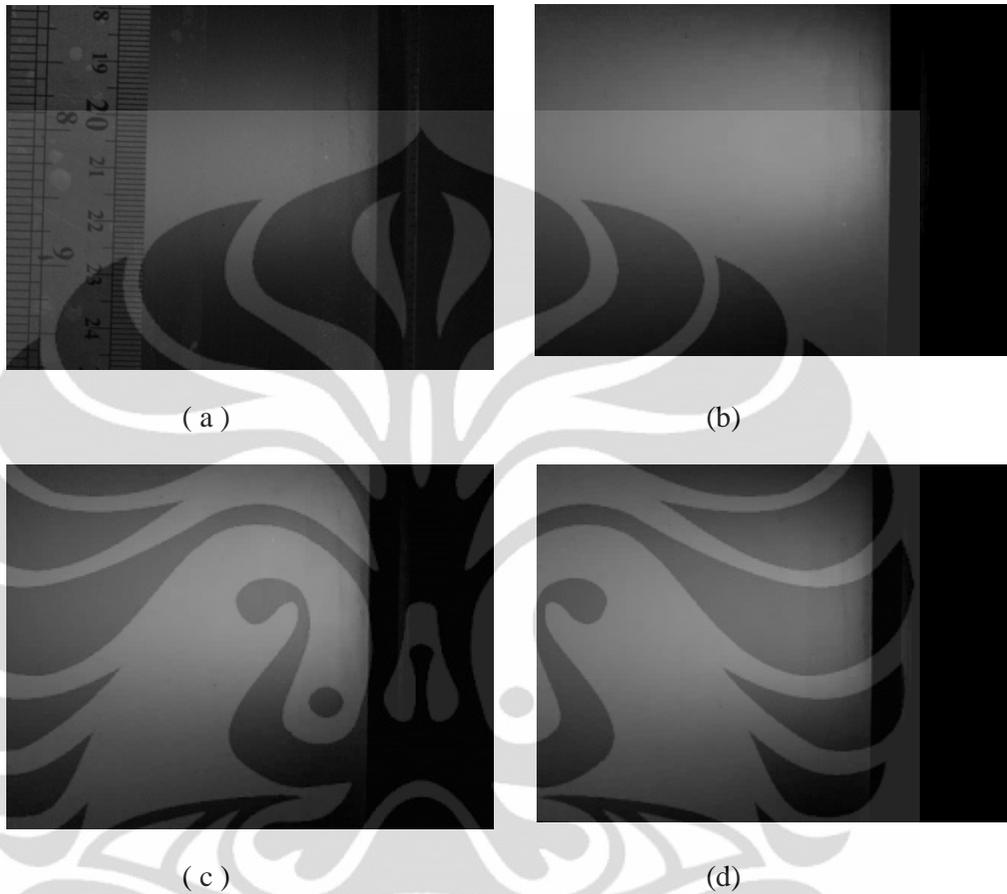
**Gambar L.4** (a) Kalibrasi gambar (b)  $v_{jet} = 3,7 \text{ m/s}$  (c)  $v_{jet} = 6,5 \text{ m/s}$  dan (d)  $v_{jet} = 7,7 \text{ m/s}$  dengan *software virtualdub* pada kolom gelembung pancaran untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 5:1 pada area B.

Lampiran 5



**Gambar L.5** (a) Kalibrasi gambar (b)  $v_{jet} = 3,7$  m/s (c)  $v_{jet} = 6,5$  m/s dan (d)  $v_{jet} = 7,7$  m/s dengan *software virtualdub* pada kolom gelembung pancaran untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1 pada area A.

Lampiran 6



**Gambar L.6** (a) Kalibrasi gambar (b)  $v_{\text{jet}} = 3,7 \text{ m/s}$  (c)  $v_{\text{jet}} = 6,5 \text{ m/s}$  dan (d)  $v_{\text{jet}} = 7,7 \text{ m/s}$  dengan *software virtualdub* pada kolom gelembung pancaran untuk fluida dengan rasio mol setara rasio mol metanol/CPO 6:1 pada area B.

Lampiran 7. ( perhitungan *interrogation field* dan fps)

asumsi									
Rasio mol	jarak(x)(cm)	vel jet (m/sec)	vel fluida (mm/sec)	Cal image (px/mm)	Pulse delay ( $\mu$ s)	max movement ( $\mu$ m)	interogation field ( $\Delta$ t) ms)	frame rate (Frame/sec)	fps
4:01	2	3.7	1000	30.6	1250	523	0.52288	1913	800
		6.5	1000	30.6	1250	523	0.52288	1913	800
		7.7	1000	30.6	1250	523	0.52288	1913	800
	17	3.7	1000	30.51	1250	524	0.52442	1907	800
		6.5	1000	30.51	1250	524	0.52442	1907	800
		7.7	1000	30.51	1250	524	0.52442	1907	800
5:01	2	3.7	1000	29.9	1250	535	0.53512	1869	800
		6.5	1000	29.9	1250	535	0.53512	1869	800
		7.7	1000	29.9	1250	535	0.53512	1869	800
	17	3.7	1000	30.3	1250	528	0.52805	1894	800
		6.5	1000	30.3	1250	528	0.52805	1894	800
		7.7	1000	30.3	1250	528	0.52805	1894	800
6:01	2	3.7	1000	30.5	1250	525	0.52459	1906	800
		6.5	1000	30.5	1250	525	0.52459	1906	800
		7.7	1000	30.5	1250	525	0.52459	1906	800
	17	3.7	1000	30.9	1250	518	0.51780	1931	800
		6.5	1000	30.9	1250	518	0.51780	1931	800
		7.7	1000	30.9	1250	518	0.51780	1931	800

(lanjutan lampiran 7)

Keterangan untuk tabel di lampiran 7.

$$\text{pulse delay} = 800 \text{ fps} \rightarrow 1 \text{ sec} = \frac{1000 \text{ msec}}{800 \text{ sec}} = 1.25 \text{ msec} = 1250 \mu\text{sec}$$

$$\text{max movement} = \frac{1}{4} \times 64 \text{ pixel} = 16 \text{ pixel} \rightarrow \frac{16 \text{ pixel}}{\text{cal image } \left(\frac{\text{pixel}}{\text{mm}}\right)}$$

$$\text{Interogation field } (64 \times 64) \rightarrow \Delta t = \frac{\text{max movement } (\mu\text{m})}{\text{velocity fluida } (\mu\text{m}/\text{sec})} \times 1000 \text{ msec}$$

$$\text{Frme rate} = \frac{1}{(\Delta t \times 10^{-3})} = \text{frame/sec}$$

Lampiran 8 (Pengolahan dan Perhitungan Kecepatan Jet ( $v = m/s$ ))

Pada kondisi T ruangan Lab ( $\pm 25^0C$ )

$$\text{Volume} = 4L = 0,004m^3$$

$$\text{Diameter Jet} = 9,55 \text{ mm} = 9,55 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Luas jet (A)} = 1/4\pi D^2 = 1/4 \times 3,14 \times (9,55 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = 7,16 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{m^3/\text{menit}}{m^2}$$

Pada  $1/4$  bukaan valve diperoleh kecepatan jet sebagai berikut:

$$f = \frac{\sum L_{t+1} - L_t}{\sum t_{t+1} - t_t} = \frac{0,12005}{10} = 0,012005 m^3/\text{menit}$$

$$Q = f = 0,012005 m^3/\text{menit} \times \frac{1l}{10^{-3}m^3} = 12,005 l/\text{menit}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{m^3/\text{menit}}{m^2} = \frac{0,012005 m^3/\text{menit}}{7,16 \times 10^{-5} m^2} \times \frac{1\text{menit}}{60s} = 2,79 m/s$$

Pada  $1/2$  bukaan valve diperoleh kecepatan jet sebagai berikut:

$$f = \frac{\sum L_{t+1} - L_t}{\sum t_{t+1} - t_t} = \frac{0,15926}{10} = 0,015926 m^3/\text{menit}$$

$$Q = f = 0,015926 m^3/\text{menit} \times \frac{1l}{10^{-3}m^3} = 15,926 l/\text{menit}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{m^3/\text{menit}}{m^2} = \frac{0,015926 m^3/\text{menit}}{7,16 \times 10^{-5} m^2} \times \frac{1\text{menit}}{60s} = 3,71 m/s$$

(Lanjutan lampiran 8)

Pada  $\frac{3}{4}$  bukaan valve diperoleh kecepatan jet sebagai berikut:

$$f = \frac{\sum L_{t+1} - L_t}{\sum t_{t+1} - t_t} = \frac{0,27736}{10} = 0,027736 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$Q = f = 0,027736 \text{ m}^3/\text{menit} \times \frac{1 \text{ l}}{10^{-3} \text{ m}^3} = 27,736 \text{ l}/\text{menit}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\text{m}^3/\text{menit}}{\text{m}^2} = \frac{0,027736 \text{ m}^3/\text{menit}}{7,16 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} = 6,46 \text{ m/s}$$

Pada 100% bukaan valve diperoleh kecepatan jet sebagai berikut:

$$f = \frac{\sum L_{t+1} - L_t}{\sum t_{t+1} - t_t} = \frac{0,32925}{10} = 0,032925 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$Q = f = 0,032925 \text{ m}^3/\text{menit} \times \frac{1 \text{ l}}{10^{-3} \text{ m}^3} = 32,925 \text{ l}/\text{menit}$$

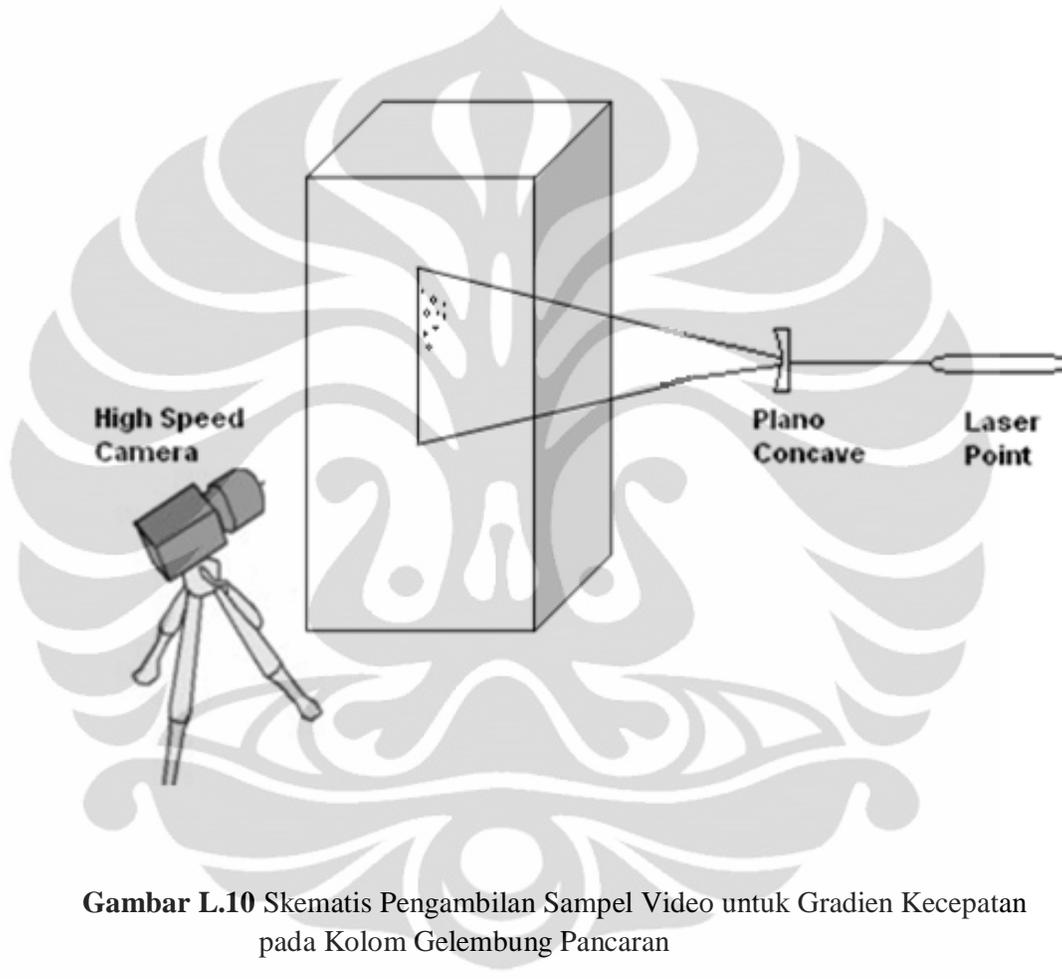
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\text{m}^3/\text{menit}}{\text{m}^2} = \frac{0,032925 \text{ m}^3/\text{menit}}{7,16 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} = 7,66 \text{ m/s}$$

Lampiran 9



**Gambar L.9** Rangkaian alat penelitian studi hidrodinamika.

Lampiran 10



**Gambar L.10** Skematis Pengambilan Sampel Video untuk Gradien Kecepatan pada Kolom Gelembung Pancaran