

# KAJIAN MENGENAI PERBANDINGAN RASIO UDARA YANG TEPAT PADA PROSES PEMBAKARAN

*Frida Amriyati Azzizzah*

## ABSTRAK

Proses produksi biodiesel secara katalitik selain membutuhkan sistem pengadukan yang optimal juga membutuhkan *heater* untuk memperoleh temperatur reaksi yang sesuai sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan dapat diatasi, dan reaksi antara trigliserida dengan metanol dapat berlangsung dengan baik untuk menghasilkan biodiesel. sehingga perlu dilakukan kajian untuk mengoptimalkan penggunaan *static mixer* dalam proses pengadukan antara trigliserida dengan metanol supaya menghasilkan kadar metil ester yang sesuai standar dan proses produksi biodiesel dapat dilakukan secara *continue*.

Kata Kunci : Perbandingan Rasio, Biodiesel, Static Mixer

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Frekuensi tumbukan pada *blade agitator* masih kurang optimal bila dilakukan pada putaran (rpm) yang rendah. Bahan-bahan pereaktan dapat bereaksi atau proses reaksi bisa mengarah ke kanan bila diterapkan mekanisme *vigorous stirring* (pengadukan yang amat kuat) dan suhu yang relatif tinggi (Darnoko dan Cheryan, 2000). Hal ini berarti dibutuhkan putaran (rpm) yang tinggi dengan daya yang besar untuk proses pengadukan ini. Permasalahan ini dapat diatasi dengan pemakaian alat yang dapat menjalankan fungsi sebagai pengaduk dan pencampur, namun bekerja dalam kondisi statis. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan *static mixer*.

*Static mixing reactor* (SMR) terdiri dari reaktor yang didalamnya terdapat *static mixer*. *Static mixer* merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mencampur dua jenis fluida atau lebih tanpa kerja mekanik, hanya memanfaatkan aliran dan kekentalan fluida. Proses produksi biodiesel secara katalitik selain membutuhkan sistem pengadukan yang optimal juga membutuhkan *heater* untuk memperoleh temperatur reaksi yang sesuai sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan dapat diatasi, dan reaksi antara trigliserida dengan metanol dapat berlangsung dengan baik untuk menghasilkan biodiesel.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Panggabean (2011), menyatakan bahwa proses produksi biodiesel dengan menggunakan *static mixer* dapat dilakukan dengan baik dengan waktu reaksi pengadukan 30 menit dan konsentrasi katalis (KOH) 0.5% sehingga kadar metil ester dari biodiesel yang dihasilkan adalah 95.82% w/w. Penelitian yang dilaksanakan oleh Panggabean (2011) ini menggunakan satu mixer. Hasil ini kurang optimal karena kadar metil ester yang dihasilkan belum sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang ditetapkan yaitu 96.5% (rumusan standar biodiesel Eropa, Amerika, dan Indonesia dapat dilihat pada Lampiran 1), sehingga perlu dilakukan kajian untuk mengoptimalkan penggunaan *static mixer* dalam proses pengadukan antara trigliserida dengan metanol supaya menghasilkan kadar metil ester yang sesuai standar dan proses produksi biodiesel dapat dilakukan secara *continue*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Produksi biodiesel secara katalitik umumnya membutuhkan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dan pengadukan untuk meningkatkan frekuensi tumbukan agar reaksi antara trigliserida dan metanol dapat berlangsung dengan laju yang baik. Sistem pengadukan yang baik diharapkan dapat mengurangi penggunaan katalis. Untuk itu perlu dilakukan kajian terhadap sistem pengadukan yang optimum untuk proses produksi biodiesel dengan *static mixing reactor*.

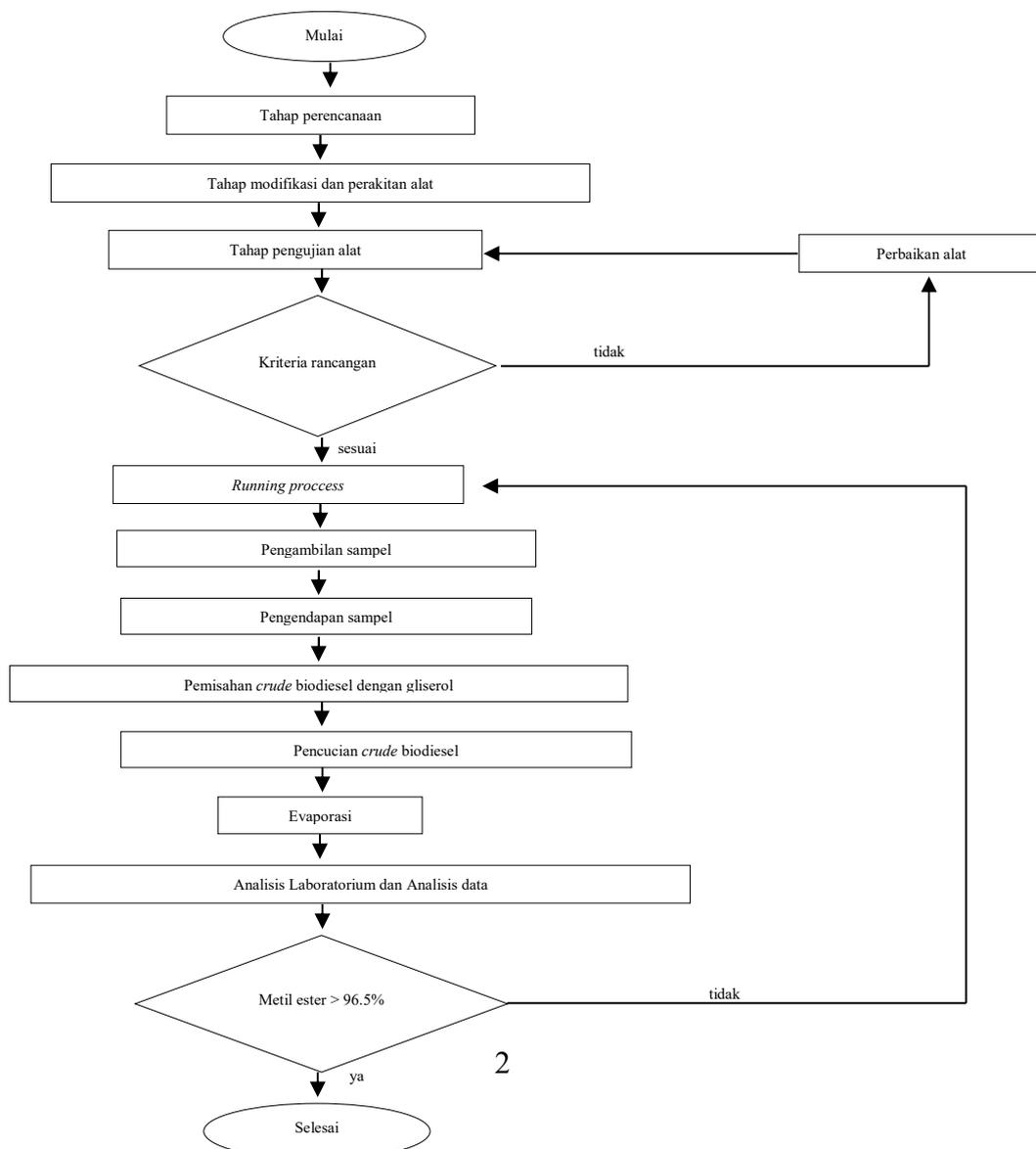
## 1.3 Tujuan Penelitian

- Mendapatkan kadar metil ester terbaik sesuai dengan standar yang ditetapkan dengan menggunakan *static mixer* sebagai alat pengaduk.
- Mencari kondisi yang optimal dari penggunaan *static mixer* pada proses produksi biodiesel secara katalitik.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alur Pelaksanaan Penelitian

Sistem produksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *continued* dimana minyak, metanol, dan katalis dimasukkan kedalam tangki pengumpul 1 sebelum proses dijalankan. Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Alur pelaksanaan penelitian

**a. Variabel yang Dihitung**

Variabel yang dihitung antara lain:

1. Menghitung fraksi massa kedua bahan

$$mf_1 = \frac{n_1}{ntotal} \dots\dots\dots(5)$$

$$mf_2 = \frac{n_2}{ntotal} \dots\dots\dots(6)$$

dimana,

$mf_1$  = fraksi mol minyak

$mf_2$  = fraksi mol metanol

$n_1$  = mol minyak

$n_2$  = mol metanol

$ntotal$  =  $n_1 + n_2$

2. Menghitung nilai viskositas, densitas, dan panas spesifik campuran

$$\vartheta_{camp} = mf_1 \cdot \vartheta_1 + mf_2 \cdot \vartheta_2 \dots\dots\dots(7)$$

$$\rho_{camp} = mf_1 \cdot \rho_1 + mf_2 \cdot \rho_2 \dots\dots\dots(8)$$

$$cp_{camp} = mf_1 \cdot cp_1 + mf_2 \cdot cp_2 \dots\dots\dots(9)$$

dimana,

$\vartheta_1$  = viskositas minyak (m<sup>2</sup>/s)

$\vartheta_2$  = viskositas metanol (m<sup>2</sup>/s)

$\rho_1$  = densitas minyak (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_2$  = densitas metanol (kg/m<sup>3</sup>)

$cp_1$  = panas spesifik minyak (kJ/kg °C)

$cp_2$  = panas spesifik metanol (kJ/kg °C)

3. Debit keluaran fluida (Q)

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(10)$$

dimana,

Q = debit (m<sup>3</sup>/s)

V = volume (m<sup>3</sup>)

t = waktu (s)

4. Perhitungan bilangan Reynold (Re)

$$Re = \frac{v d}{\vartheta} \dots\dots\dots(11)$$

5. Menentukan Head total pompa

$$H_{total} = h \text{ kerugian} + h \text{ statis} \dots\dots\dots(12)$$

- Menghitung Head kerugian

- o Head kerugian gesek

- o Jalur pipa (hfg) =  $\frac{L V^2}{D 2 g} \dots\dots\dots(13)$

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \dots\dots\dots(14)$$

- o Houstingstatic mixer (hfg<sub>sm</sub>) = 0.45 m (Admix 1998)

- o Head kerugian pada jalur pipa (hfp)

- o hfp =  $f \frac{V^2}{2 g} \dots\dots\dots(15)$

- o a) Ujung masuk pipa

f = 0.5 (Sularso dan Tahara, 2000)

- o b) Belokan

- f = 1.129 (Sularso dan Tahara, 2000)
    - c) Pembesaran penampang secara mendadak  
f = 1 (Sularso dan Tahara, 2000)
    - d) Pengecilan penampang secara mendadak  
f = 0.48 (Sularso dan Tahara, 2000)
    - e) Ujung keluar pipa  
f = 1 (Sularso dan Tahara, 2000)
  - Head kerugian pada katup (hfk)
    - $h_{fk} = f \frac{v^2}{2g}$ .....(16)
    - f = 0.09 (Sularso dan Tahara, 2000)
  - Head *static mixer*(hfm)
    - $h_{fm} = h_{fgsm} \cdot f$ .....(17)
    - f = 42.72 (Admix, 1998)
  - Head kerugian pada sambungan (hsp)
    - $h_{sp} = f \frac{v^2}{2g}$ .....(18)
    - f = 0.04 (Mechram, 2008)
  - Head statis (hfs)
 

Nilai head statis didapatkan dengan mengukur perbedaan tinggi muka fluida di sisi hisap dan di sisi keluar.

6. Daya fluida (Pf)

- $P_f = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_t$ .....(19)
- $Q = Q_1 = Q_2$  .....(20)
- $Q = A \cdot v$ .....(21)
- $A = \frac{1}{4} \pi d^2$ .....(22)

7. Daya pompa (P)

- $P = \frac{P_f}{\eta_p}$ .....(23)

8. Perhitungan daya heater (Ph)

- $Ph = \frac{q}{t}$ .....(24)
- $q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ .....(25)

**b. Analisis Data**

Perlakuan yang digunakan pada penelitian ini yaitu jumlah reaktor *static mixer*, dimana unit percobaan meliputi:

- A0 = 2 buah
- A1 = 4 buah
- A2 = 6 buah
- A3 = 8 buah

Semua sampel yang dihasilkan dari setiap perlakuan dianalisis di laboratorium untuk mendapatkan nilai angka asam, angka penyabunan, dan gliserol total. Nilai yang didapat dari hasil analisis laboratorium digunakan untuk menentukan kadar metil ester. Kadar metil ester ditentukan dengan menggunakan Pers. (26).

1) Kadar metil ester

- % metil ester =  $\frac{100 (A_s - A_a - 4.57G_{total})}{A_s}$ .....(26)

dimana:

A<sub>s</sub> : angka penyabunan yang ditentukan dengan metoda AOCS Cd 3

25, mg KOH /g biodiesel.

Aa : angka asam yang ditentukan dengan metoda AOCS Cd 3 – 63, mgKOH/g biodiesel.

Gtotal : kadar gliserol total dalam biodiesel yang ditentukan dengan metoda Ca 14 – 56, %massa (BSN, 2006).

Nilai kadar metil ester yang diperoleh dari perhitungan kemudian digunakan untuk menghitung *yields* biodiesel. Perhitungan nilai yield biodiesel ditunjukkan pada Pers. (27). Analisis perhitungan dilakukan dengan menggunakan Ms.exel dan data hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik.

2) Yields

$$- \text{Yields} = \frac{\text{massa methyl ester}}{\text{Massa awal minyak}} \times 100\% \dots \dots \dots (27)$$

### 3 TINJAUAN PUSTAKA

Terminologi biodiesel berasal dari persetujuan *Department of Energy* (DOE), *The Environmental Protection Agency* (EPA), dan *American Society of Testing Materials* (ASTM), sebagai salah satu energi alternatif untuk mesin diesel (ASTM, 2002). Istilah bio merujuk kepada bahan terbarukan dan bahan hayati yang berbeda dari solar yang berbahan baku minyak bumi. Biodiesel bisa digunakan murni (100% metil ester) atau sebagai campuran dengan perbandingan tertentu dengan bahan bakar solar. Dalam istilah perdagangan campuran biodiesel dengan solar dinamakan dengan notasi BXX. Misalnya campuran biosolar yang dinyatakan sebagai B5 dan B10, yang artinya terdapat 5% dan 10% biodiesel didalam solar.

Biodiesel merupakan bahan bakar diesel yang berasal dari bahan hayati terutama minyak nabati dan lemak hewan dan secara kimiawi dinyatakan sebagai monoalkil ester dari asam lemak rantai panjang yang bersumber dari golongan lipida (Ma dan Hanna, 1999; Darnako dan Cheryan. 2000a). Biodiesel didefinisikan sebagai monoalkil ester rantai panjang dari asam lemak yang diderivasi dari *renewable feedstocks* (bahan yang dapat diperbaharui), seperti minyak nabati dan lemak hewan, untuk penggunaan *compression ignition* (penyundutan kompresi) dari mesin diesel. Biodiesel dianggap sebagai bahan bakar alternatif dari bahan bakar konvensional diesel solar yang tersusun dari *fatty acid methyl ester* (FAME).

Menurut Gerpen (2005), terdapat lima alasan pengembangan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif, antara lain:

- 1) Menyediakan pasar untuk kelebihan produksi minyak nabati dan lemak hewan.
- 2) Mengurangi, meskipun tidak menghilangkan, ketergantungan Negara dalam mengimpor *petroleum*.
- 3) Biodiesel merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui dan mengurangi dampak pemanasan global karena siklus karbon yang tertutup. Analisis siklus hidup biodiesel menunjukkan bahwa keseluruhan emisi CO<sub>2</sub> berkurang sebesar 78% dibandingkan dengan bahan bakar diesel berbahan *petroleum*.
- 4) Emisi buang karbon monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar, dan emisi partikel padat dari biodiesel lebih rendah dibandingkan bahan bakar diesel.
- 5) Ketika ditambahkan ke dalam bahan bakar diesel yang regular dalam jumlah 1 – 2%, dapat mengubah kelemahan sifat bahan bakar, misalnya bahan bakar diesel yang rendah kadar sulfur dan menjadi bahan bakar yang dapat diterima.

Pemanfaatan minyak nabati secara langsung sebagai bahan bakar mesin diesel (biodiesel), ternyata masih memiliki suatu masalah. Masalah yang dihadapi terutama

disebabkan oleh viskositas minyak nabati yang terlalu tinggi jika dibandingkan dengan diesel petroleum (Krisnangkura *et al.* 2010). Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu dilakukan proses konversi minyak nabati kedalam bentuk ester (metil ester) dari asam lemak minyak nabati melalui proses transesterifikasi.

### Proses Produksi Biodiesel

Biodiesel dapat diproduksi dengan bantuan katalis atau secara katalitik dan tanpa bantuan katalis atau non-katalitik. Katalis yang bisa digunakan dalam reaksi dapat digolongkan kedalam tiga jenis yaitu katalis enzim, katalis asam, dan katalis basa. Contoh dari katalis basa yang biasa digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH), contoh katalis asam adalah asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) atau asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), contoh katalis enzim adalah lipase. Jenis katalis yang digunakan tergantung dari kandungan *Free Fatty Acid*(FFA) dalam minyak atau lemak. Katalis basa biasa digunakan untuk minyak atau lemak dengan kandungan FFA kurang dari 5%, sedangkan katalis asam atau katalis enzim untuk minyak atau lemak dengan kandungan FFA lebih dari 5% (Joelianigsih, 2008).

Proses produksi biodiesel dengan menggunakan katalis asam akan memberikan *yield* yang sangat besar namun reaksinya sangat lambat, dapat mencapai satu hari. Selain itu, jumlah alkohol yang digunakan akan sangat banyak, biasanya dengan mol rasio 30:1. Pemakaian katalis enzim memberikan harapan terhadap proses produksi biodiesel yang lebih aman terhadap lingkungan, namun sama halnya dengan katalis asam, katalis enzim membutuhkan waktu yang sangat lama agar reaksi dapat berlangsung, selain itu proses produksi dengan katalis enzim juga membutuhkan biaya yang sangat besar. Oleh sebab itu, katalis yang digunakan dalam proses produksi biodiesel secara katalitik biasanya adalah katalis basa. Katalis basa yang umum digunakan adalah basa kuat yang dapat terlarut dalam metanol dan etanol (Marchetti *et al.* 2007).

Proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis dimulai dengan reaksi transesterifikasi, pengembalian metanol yang tidak bereaksi, pemurnian metil ester dari katalis, pemisahan gliserol yang merupakan produk sampingan. Pemurnian menggunakan air dengan cara pencucian berulang, sehingga proses ini lebih boros air. Reaksi pembuatan biodiesel dengan katalis mempunyai kelebihan yaitu reaksi dapat berjalan lebih cepat, sedangkan kekurangannya adalah diperlukan proses yang panjang untuk memurnikan produk dan perlu pengadukan yang kuat dalam reaksi karena metanol susah larut dalam minyak (Kusdiana dan Saka, 2001). Beberapa penelitian yang menggunakan katalis basa pada proses produksi biodiesel secara katalitik yaitu; Widayawati (2007), menggunakan katalis NaOH sebesar 1.32%, menghasilkan biodiesel dengan bilangan asam 0.54 mg KOH/g dan viskositas 4.62 mm<sup>2</sup>/s. Sahirman (2009), menggunakan katalis NaOH sebesar 1.1 %, menghasilkan biodiesel dengan viskositas 12.3 mm<sup>2</sup>/s dan kadar metil ester 95.7%.

Math *et al.* 2010, merangkum penggunaan KOH dan NaOH, seperti tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1 Pemakaian katalis basa pada produksi biodiesel

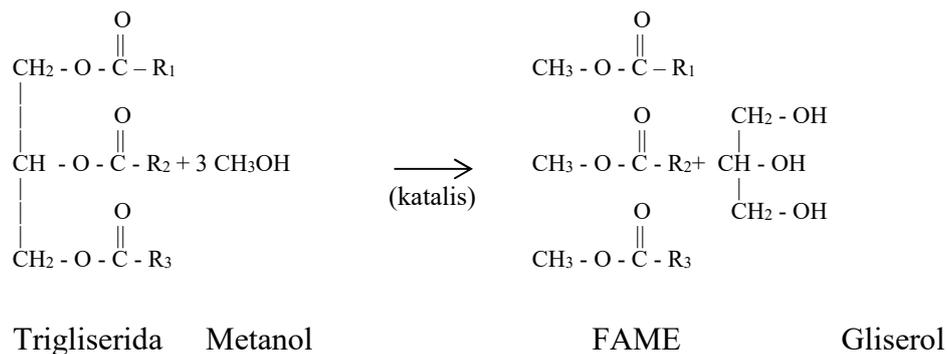
Reference	Katalis	Jumlah (%)	% yield Biodiesel
Arquiza <i>et al</i> (2000)	NaOH	0.5	94
Felizardo <i>et al</i> (2006)	NaOH	0.6	Maximum
Chhetri <i>et al</i> (2008)	NaOH	0.08	94.5
Tomasevic dan Siler Marinkovic (2003)	KOH	1	Maximum
Reefat <i>et al</i> (2008)	KOH	1	Maximum
Phan dan Phan (2008)	KOH	0.75	88-90
Allawzi dan Kandah	KOH	1.2	78.5

Sumber: Math *et al*, 2010

Tabel 1 menunjukkan pemakaian NaOH dapat diturunkan sampai 0.08% w/w. Untuk KOH masih berkisar 1% w/w, sehingga perlu dilakukan suatu cara untuk menurunkan pemakaian KOH. Pemakaian KOH dapat diturunkan dengan meningkatkan intensitas tumbukan partikel-partikel yang bereaksi. Tumbukan-tumbukan akan menghasilkan reaksi jika partikel-partikel bertumbukan dengan energi yang cukup untuk memulai sesuatu reaksi atau yang sering disebut sebagai energi aktivasi. Peningkatan frekuensi tumbukan dapat dilakukan dengan meningkatkan temperatur proses, konsentrasi dari pereaksi dan meningkatkan pengadukan.

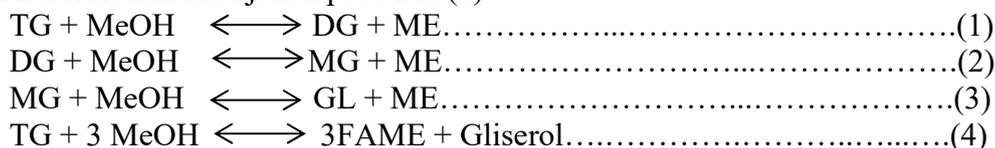
Reaksi yang terjadi baik dalam laboratorium maupun industri umumnya akan lebih cepat jika dipanaskan. Peningkatan temperatur dapat meningkatkan laju reaksi karena bertambahnya jumlah energi tumbukan aktif (Clark, 2004). Cara lain untuk meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel yaitu dengan proses *mixer* (pengadukan).

Reaksi kimia yang terjadi dalam pembuatan biodiesel merupakan transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak dengan metanol dan menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) yang sering disebut biodiesel dan gliserol. Persamaan reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1, dimana R1, R2, R3 adalah hidrokarbon rantai panjang dari asam lemak.



Gambar 1 Reaksi transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi terjadi tiga tahapan sebelum terbentuknya gliserol. Tahapan pertama adalah trigliserida bereaksi dengan metanol akan membentuk digliserida dan FAME seperti yang ditunjukkan pada Pers.(1) Digliserida bereaksi kembali dengan metanol menghasilkan monogliserida dan FAME seperti yang ditunjukkan pada Pers.(2) dan selanjutnya monogliserida bereaksi dengan metanol menghasilkan gliserida dan FAME ditunjukkan pada Pers. (3), sehingga Persamaan reaksi keseluruhan ditunjukkan pada Per.(4)



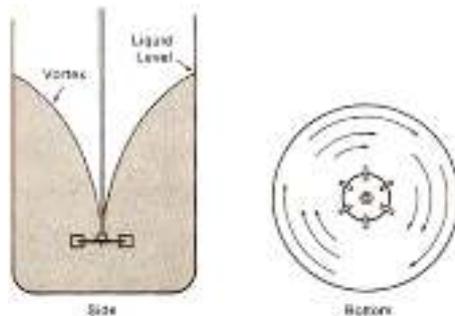
Faktor- faktor yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi yaitu: kandungan air, kandungan asam lemak bebas, suhu, waktu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentersasi katalis yang digunakan, serta jumlah perbandingan mol rasio yang digunakan.

### **Static Mixer**

*Static mixer* mulai digunakan pada proses produksi biodiesel secara katalitik oleh Thompson dan He (2007). Pengaduk mekanis yang umum digunakan sebelum itu

adalah *blade agitator*. Beberapa penelitian yang menggunakan *blade agitator* sebagai pengaduk mekanis dalam proses produksi biodiesel antara lain Wu *et al* (1999), Darnoko dan Cheryan (2000a), Darnoko dan Cheryan (2000b), dan Gerpen (2005). Alamsyah *et al*(2010) membandingkan kinerja *blade agitator* dengan *static mixer* pada proses produksi biodiesel. Hasil penelitian tersebut menyatakan waktu yang dibutuhkan untuk kadar metil ester mencapai standar, pada reaksi transesterifikasi dengan menggunakan *static mixer*, lebih singkat dibandingkan dengan menggunakan *blade agitator*. Selain itu, laju reaksi dengan menggunakan *static mixer* lebih tinggi satu ordo dibandingkan dengan menggunakan *blade agitator*. Dalam operasionalnya *input* tenaga listrik *static mixer* yang diperlukan cukup rendah dibandingkan dengan jenis *mixer* lainnya.

McCabe *et al* (1993) menyatakan prinsip dalam aliran pada sistem pengadukan dengan menggunakan *agitator* adalah radial dan tangensial. Komponen tangensial akan menyebabkan terbentuknya *vortex* (pusaran). Pada impeler yang berkecepatan tinggi, *vortex* akan terbentuk hingga mencapai impeler seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan *static mixer* sebagai alat pengaduk mekanis.



Gambar 2 Pola aliran di dalam bejana tanpa *baffle* pada sistem pengadukan dengan *blade agitator* (McCabe *et al.* 1993)

Penggunaan *static mixer* dalam produksi biodiesel telah dilakukan sebelumnya oleh Thompson dan He (2007), diperoleh metil ester terbaik dicapai pada suhu 60 °C, konsentrasi katalis 1.5% dengan waktu 30 menit. Alamsyah (2010) juga menggunakan *static mixer* untuk proses produksi biodiesel. Dalam hal ini *static mixer* berfungsi untuk mempermudah kerja katalis dalam mempercepat terjadinya reaksi antara trigliserida dan metanol melalui proses pengadukan yang dilakukan oleh elemen statis. Katalis yang digunakan oleh Alamsyah (2010) sebanyak 1% w/w, dan menghasilkan metil ester sebesar 98.7% dalam waktu 20 menit. Dari kondisi tersebut terlihat bahwa pemakaian katalis masih dapat diturunkan di bawah 1% w/w dengan bantuan pengadukan dari *static mixer* yang menciptakan pemecahan pembagian dan pembalikan aliran dengan tujuan mengurangi variasi bahan dan menghasilkan campuran yang lebih homogen. Selain itu, Somnuk *et al* (2013) juga menggunakan *static mixer* untuk proses produksi biodiesel. *Static mixer* yang digunakan di kombinasikan dengan reaktor ultrasonik. Katalis yang digunakan yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 2.7 % dan menghasilkan metil ester sebesar 97.5 % dalam waktu 20 menit.

*Static mixer* merupakan rangkaian elemen untuk pencampuran yang diletakan dalam sebuah pipa dan menggunakan energi dari aliran untuk menciptakan pencampuran antara dua atau lebih fluida (Paul *et al.* 2003). *Static mixer* merupakan satu jenis mixer yang mempunyai kehilangan tekanan yang sangat rendah di samping memberikan efek getaran yang sangat rendah sehingga dikenal sebagai *motionless mixer*. *Static mixer* dapat diaplikasikan untuk mencampur fluida yang mempunyai

viskositas rendah, viskositas tinggi, material berat dan keperluan proses *blending* (Paul *et al.* 2003).

Cara kerja *Static Mixing Reactor* (SMR) adalah membentuk atau meningkatkan turbulensi aliran campuran trigliserida dan metanol, sehingga partikel-partikel dari campuran ini menjadi lebih kecil (luas permukaan kontak partikel menjadi lebih besar) dan dapat bercampur dengan baik. Turbulensi aliran yang terbentuk pada kondisi temperatur yang sesuai dan dengan pemakaian sedikit katalis diharapkan dapat mempercepat terjadinya reaksi antara trigliserida dan metanol, karena frekuensi tumbukan yang terjadi dalam reaktor semakin besar sehingga jumlah partikel energik bertambah. Semakin besar tumbukan yang terjadi, maka reaksi antar partikel juga semakin besar, dan kontak antar bidang permukaan partikel akan semakin sering (Panggabean, 2011).

Mekanisme pencampuran fluida dengan *static mixer* terdiri dari: *dividing* (pembagian), *pembelokan*, *rotating* (pemutaran), *chanelling* (penghubungan). Pencampuran akan meningkatkan homogenitas dan mencegah sedimentasi. Mekanisme pengadukan ini juga menghasilkan getaran yang minimal (*motionless mixer*) serta memberikan kehilangan tekanan yang minimal (*low pressure loss*) (Oldshue, 1983 dalam Alamsyah, 2010).

Berdasarkan karakteristik fluida yang dicampur, terdapat beberapa jenis *static mixer* antara lain:

- 1) *Blade design static mixer*  
Dirancang untuk fluida dengan viskositas rendah hingga sedang.
- 2) *Helical design static mixer*  
Dirancang untuk dua aliran fluida dengan viskositas tinggi atau *blending* (mencampur) dua atau lebih *ingredients* (bahan).
- 3) *Non-clog static mixer*  
Digunakan untuk mencampur bahan-bahan yang *fibrous materials* (berserat).
- 4) *Wafer style mixer*  
Diaplikasikan untuk pencampuran aliran bahan yang mempunyai kecepatan tinggi atau bahan-bahan yang dicampur mempunyai masalah dengan kepanjangan pipa (Kenics corp, 2007).

*Static mixer* umumnya berbentuk heliks yang berada di dalam tabung silinder. Terbuat dari logam atau sejenis plastik. Demikian pula, selubung *mixer* dapat dibuat dari logam atau plastik. Jenis bahan konstruksi untuk komponen *static mixer* antara lain *stainless steel*, *polypropylene*, *teflon*, *kynar*, dan *polyacetal* (Panggabean, 2011). Untuk mengetahui pembagian aliran dan pencampuran radial cairan dalam *static mixer* dapat dilihat pada Gambar 3.

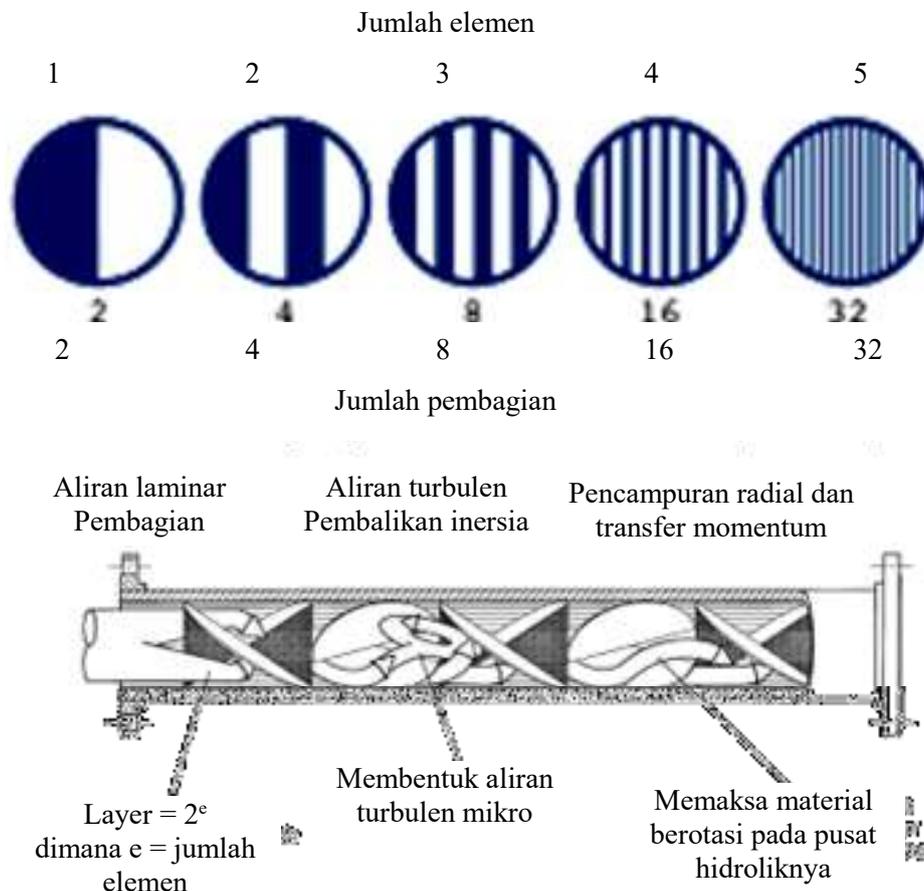


Gambar 3. a. Pembagian aliran, b. pencampuran aliran di dalam *static mixer* (Bor, 1971)

Fluida yang mengalir melewati elemen *static mixer* akan mengalami pencampuran dan pengadukan yang seolah-olah telah mengalami pengadukan secara *batch* konvensional dalam tangki (Admix 2012a). Keberhasilan proses pencampuran tergantung pada beberapa variable antara lain sifat fluida, diameter dalam tabung,

jumlah elemen, dan desain. Desain geometrik alat yang tepat dapat menghasilkan pola pembagian aliran dan pencampuran radial sekaligus.

Proses pembagian aliran bahan (fluida) pada elemen *mixer* terjadi di bagian tepi setiap elemen. Aliran yang terbagi tersebut mengikuti saluran yang diciptakan oleh bentuk elemen *mixer* (heliks), kemudian mengalami pembagian lagi pada bagian tepi elemen berikutnya sehingga mengakibatkan peningkatan eksponensial dalam stratifikasi (jumlah bagian yang dihasilkan adalah  $2^n$  dimana 'n' adalah jumlah elemen dari *mixer*). Selain itu, geometri *static mixer* juga menyebabkan terbentuknya aliran turbulen mikro, pencampuran radial (sirkulasi dan rotasi bahan di sekitar pusat hidrolik) dan transfer momentum di setiap saluran mixer. Proses pencampuran dan pengadukan yang terjadi di saluran *static mixer* akan mengurangi atau menghilangkan gradien pada temperatur, kecepatan, dan komposisi bahan (Admix, 2012b). Untuk pembagian aliran di *mixer* adalah fungsi dari jumlah elemen yang terdapat pada *static mixer* dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk gambar aliran fluida dalam *static mixer* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Aliran fluida dalam *static mixer*(Admix, 2012b)

Aliran fluida terbagi menjadi dua jenis yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar didefinisikan aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina dengan *Reynold Number* sebesar  $<2000$ . Sedangkan pada aliran turbulen partikel-partikel bergerak secara bebas ke semua arah dengan *Reynold Number* sebesar  $2000 - 4000$ . Fluida yang mengalir dalam aliran turbulen memiliki energi kinetik per satuan massa yang lebih besar jika dibandingkan dengan fluida yang mengalir dengan kecepatan yang sama pada aliran tidak turbulen. Dengan demikian, semakin meningkat intensitas turbulensi, maka energi kinetik turbulen akan

semakin besar. Energi kinetik turbulen membentuk aliran dari konversi viskositas menjadi energi dalam (Nevers, 1991).

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 Nilai parameter hasil perhitungan

Parameter	Nilai	Satuan
Fraksi massa bahan		
1) Minyak (TG)		
2) Metanol		
Volume bahan		
1) Minyak (TG)		
2) Metanol		
3) Total		

Tabel 3 Kebutuhan *head* pompa

Head	Nilai	Satuan
Head kerugian gesek dalam pipa (hfg)	0.018	m
Head kerugian gesek <i>housing static mixer</i> (hfgsm)	0.45	m
Head kerugian jalur pipa (hfp)		
1) Ujung masuk pipa	2.00 E-04	m
2) Belokan	3.61 E-03	m
3) Pembesaran penampang secara mendadak	1.94 E-02	m
4) Pengecilan penampang secara mendadak	9.31 E-03	m
Head kerugian pada katup (hfk)	0.003	m
Head <i>static mixer</i> (hfm)	38.39	m
Head akibat sambungan pada pipa (Hsp)	4.43 E-08	m
Head statis (hfs)	0.53	m
Head Total	39.43	m

Tabel 4 Kebutuhan daya fluida dan pompa

Daya	Nilai	Satuan
Daya fluida ( $P_{fluida}$ )	116.30	Watt
Daya pompa terpasang	200	Watt
Daya pompa ( $P_{pompa}$ )	116.15	Watt
Efisiensi daya pompa ( $\eta_p$ )	83.07	%

Tabel 4 Kebutuhan daya heater

Daya	Nilai	Satuan
Daya heater ( $P_{heater}$ )	682.04	Watt
Daya heater terpasang	800	Watt
Efisiensi daya heater ( $\eta_{heater}$ )	85.26	%

#### DAFTAR PUSTAKA

- Admix. 1998. Sizing the admixer TM Static mixer and sanitary static blender. <http://www.admix.com> [31 Agustus 2012].
- Admix. 2012a. AdmixerTM – For sanitary Static mixing and blending. [http://www.admix.com/admixer\\_general.htm](http://www.admix.com/admixer_general.htm). [31 Agustus 2012]
- Admix. 2012b. How the Admixer Static Mixer and Blender Works [http://www.admix.com/admixer\\_how.htm](http://www.admix.com/admixer_how.htm). [31 Agustus 2012]

- Alamsyah R. 2010. Studi Proses Mekanisme Pengadukan Dengan Metode *Static Mixer* Untuk Meningkatkan Efisiensi Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Biodiesel. *Disertasi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Alamsyah R, Tambunan AH, Purwanto YA, Kusdiana D. 2010. Comparison of static-mixer and blade agitator reactor in biodiesel production. *Agricultural Engineering International : the CIGR Journal*.12(1) : 99 – 106.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2002. Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels, Designation D6751 – 02, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182 : 2006 tentang Biodiesel. BSN. Jakarta.
- Bor, TP. The Static Mixer as a Chemical Reactor, *British Chemical Engineering* 16. 1971. [http://en.wikipedia.org/wiki/static\\_mixer](http://en.wikipedia.org/wiki/static_mixer). [27 Juli 2012].
- Clark J. Laju Reaksi. 2004. <http://www.chem-is-try.org>. [30 Juli 2012].
- Cengel YA. 2003. *Heat Transfer: A Practical Approach Second Edition*. McGraw Hill Higher Education. North America. Pages 446 – 447.
- Darnoko D, Cheryan M. 2000a. Kinetics of Palm Oil Transesterification in Batch Reactor. *JAACS*. 77: 1263-1267.
- Darnoko D, Cheryan M. 2000b. Continous Production of Palm Methyl Esters. *JAACS*. 77: 1269-1272.
- Gerpen JV. 2005. Biodiesel Processing and Production. *Fuel Processing Technology*. 86: 1097 – 1107.
- Joelianingsih. 2008. Biodiesel Production from Palm Oil in a Bubble Column Reactor by Non-Catalytic Process. *Disertasi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Kenics. 2007. Kenics Mixing Technology, Chemeneer, Inc, Dayton, OH. <http://www.kenics.com>[31 Agustus 2012].
- Krisnangkura K, Sansa-ard C, Aryusuk K, Lilitchan S, kittiratanapiboon K. 2010. An Empirical Approach for Predicting Kinematic Viscosities of Biodiesel Blends. *Fuels*. 89 : 2775 – 2780.
- Kusdiana D,Saka S. 2001. Development of Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol. *Fuel*. Tokyo: Kyoto University, Sakyoku.
- Ma F,Hanna MA. 1999. Biodiesel Production: a Review. *Bioresource Technology*. 70: 1 – 15.

- Math MC, Kumar SP, Chetty SV. 2010. Technologies for biodiesel production from Used Cooking Oil – A Review. *Energy for Sustainable Development*. 14 : 339 – 345.
- Marchetti JM, Miguel VU, Errazu AF. 2007. Possible Methods for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11 : 1300 – 1311.
- McCabe WL, Smith JC dan Harriott p. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering*. Edisi ke-5. McGraw – Hill Book Co. Singapore.
- Mechram S. 2008. Penentuan *Head Loss Emitter* Tipe Selang Kecil dari Bahan Lokal Sepanjang Pipa Lateral pada Sistem Irigasi Tetes. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 9 (2) : 114 – 120
- Nevers N De. 1991. *Fluid Mechanics for Chemical Engineers*. Edisi ke-2 . McGraw-Hill. New York.
- Paul EL, Obeng VAA, Kreta SM. 2003. *Handbook of Industrial Mixing Science and Practice*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Panggabean S. 2011. Analisis Kinetika Reaksi Transesterifikasi Pada Produksi Biodiesel Secara Katalitik Dengan *Static Mixing Reactor*. *Tesis*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Sahirman. 2009. Perancangan Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L). *Disertasi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Somnuk K, Smithmaitrie P, Gumpon P. 2013. Optimization of continuous acid-catalyzed esterification for free fatty acids reduction in mixed crude palm oil using static mixer coupled with high-intensity ultrasonic irradiation. *Energy Conversion and Management*. 68: 193 – 199
- Sularso, Tahara H. 2000. *Pompa dan Kompresor*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Thompson JC, He BB. 2007. Biodiesel Production Using Static Mixers. *American Society of Agricultural an Biological Engineers (ASABE)*. 50 (1) : 161 – 165.
- Widyawati Y. 2007. Disain Proses Dua Tahap Esterifikasi-Transesterifikasi (ESTRANS) Pada Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L). *Tesis*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Wu WH, Foglia TA, Marmer WN, Phillips JG. 1999. Optimizing Production of Ethyl Esters of Grease Using 95% Ethanol by Response Surface Methodology. *JAACS*. 76 : 517 – 521.

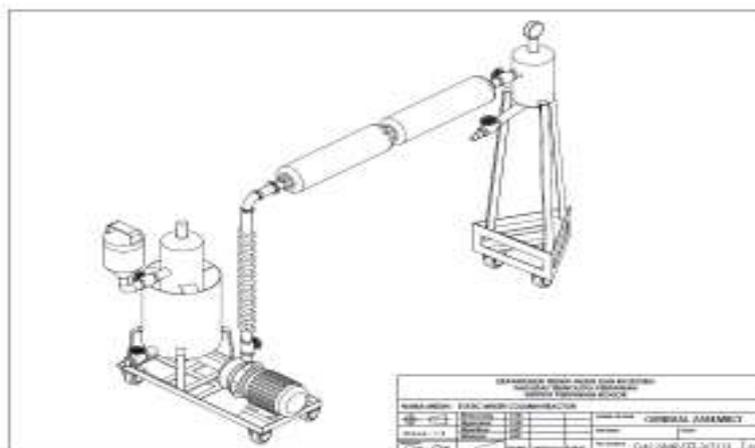
## LAMPIRAN

Lampiran 1 Rumusan standar biodiesel Eropa, Amerika, dan Indonesia

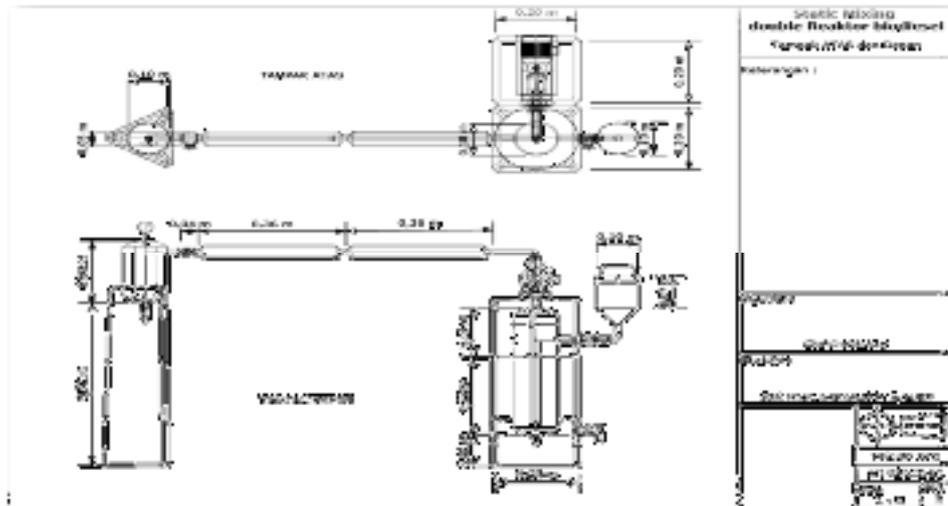
No	Parameter	Eropa (EN 14214)	Amerika (ASTMD 6751)	Indonesia (SNI 04-7182-2006)
1	Massa jenis pada 40 °C g/cm <sup>3</sup>	0.860 – 0.900	***	0.850 – 0.890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	3.5 – 5.0	1.9 – 6.0	2.3 – 6.0
3	Angka setana	Min 51	Min 57	Min 51
4	Titik nyala	Min 120 °C	130 °C	Min 100 °C
5	Titik kabut	***	***	Maks. 18
6	Korosi tembaga (3 jam pada 50 °C)	***	Maks. No 3	Maks. No 3
7	Residu karbon -dalam contoh asli	***	Maks. 0.05 % massa	Maks 0.05 % massa
	- dalam 10 % ampas distilasi	***	***	Maks 0.3 % massa
8	Air dan sendimen	***	Maks. 0.05 % volume	Maks. 0.05 % volume
9	Temperatur distilasi 90 %	***	Maks 360 °C	Maks 360 °C
10	Abu tersulfatkan	***	Maks 0.02 % massa	Maks. 0.02 % massa
11	Belerang	Maks. 10 ppm	Maks. 0.05 % massa	Maks 100 ppm
12	Fosfor	Maks 10 ppm	Maks 0.001 % massa	Maks 10 ppm
13	Angka asam	***	Maks 0.8 mg KOH/g	Maks 0.8 mg KOH/g
14	Gliserol bebas	***	Maks 0.02 % massa	Maks 0.02 % massa
15	Gliserin total	0.25 %	Maks 0.02 % massa	Maks 0.24 % massa
16	Kadar ester alkil	Min 96.5 %	***	Min 96.5 %
17	Angka iodium	Maks 120	***	Maks 115
18	Kandungan metanol	Maks 0.2 %	***	***
19	Uji Halphen	***	***	Negatif

Sumber: Badan Standarisasi nasional.

Lampiran 2 Gambar *Static Mixing Reactor Double* tampak isometri



Lampiran 3 Gambar *Static Mixing Reactor Double* tampak atas dan depan



Lampiran 4 Tabel Rencana Kerja Penelitian

Kegiatan	Des'12				Jan'13				Feb'13				Mar'13				Apr'13				Mei'13				Jun'13			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Sidang Komisi I																												
Kolokium																												
Proposal Penelitian																												
Pengujian alat static mixing reactor single mixer																												
Pengambilan dan pemurnian sampel																												
Analisis sampel																												
Pengolahan data																												
Perancangan desain static mixing reactor double mixer																												
Pengambilan dan pemurnian sampel																												
Analisis sampel																												
Penulisan Tesis																												
Pengolahan data																												
Sidang Komisi II																												

