



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

KAJIAN PENGGUNAAN *STATIC MIXING REACTOR* PADA PROSES PRODUKSI BIODISEL SECARA KATALITIK DENGAN SISTEM *CONTINUE*

CHRISTIAN SOOLANY



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2014**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA*

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul Kajian Penggunaan *Static Mixing Reactor* pada Proses Produksi Biodiesel secara Katalitik dengan Sistem *Continue* adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2014

Christian Soolany
NIM F151110121

*Pelimpahan hak cipta atas karya tulis dari penelitian kerjasama dengan pihak luar IPB harus didasarkan dari perjanjian kerja sama yang terkait.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



RINGKASAN

CHRISTIAN SOOLANY. Kajian Penggunaan *Static Mixing Reactor* Pada Proses Produksi Biodiesel dengan Sistem *Continue*. Dibimbing oleh ARMANSYAH H TAMBUNAN dan R SUDRADJAT.

Biodiesel merupakan bahan bakar diesel yang diproduksi dari metil ester atau monoalkil ester yang diturunkan dari asam lemak atau minyak nabati dimana bahan bakunya dapat diperbaharui. Sampai saat ini, dua metode yang banyak digunakan dalam proses produksi biodiesel adalah metode katalitik dan non-katalitik. Kedua metode ini memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing. Proses produksi biodiesel dengan metode katalitik membutuhkan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dan pengadukan untuk proses pencampuran antara trigliserida dan metanol, namun metode ini memerlukan *rigorous stirring* (pengadukan yang kuat) karena sifat trigliserida dan metanol yang *immiscible* (sulit untuk saling campur). Pengadukan yang baik dapat menghasilkan campuran yang homogen dan mengurangi pemakaian katalis pada proses produksi biodiesel. Penelitian ini menggunakan prototipe *static mixing reactor* yaitu reaktor yang didalamnya terdapat *static mixer* berfungsi sebagai pengaduk sekaligus pencampuran dan KOH sebagai katalis untuk memproduksi biodiesel. Penggunaan *static mixing reactor* pada proses produksi biodiesel umumnya dilakukan menggunakan sistem *batch*, penggunaan sistem ini memiliki beberapa kendala antara lain memerlukan tempat yang luas untuk kapasitas besar dan adanya jeda waktu untuk proses produksi selanjutnya. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang *static mixing reactor* dengan sistem *continue* pada proses produksi biodiesel secara katalitik dan mencari panjang *static mixer* yang dibutuhkan pada proses produksi biodiesel dengan sistem *continue* untuk menghasilkan kadar metil ester sesuai standar yang sudah ditetapkan.

Penelitian diawali dengan penentuan perbandingan molaritas antara trigliserida dan perhitungan sifat fisik dari bahan yang digunakan yaitu minyak *palm olein (Refined Bleached Deodorized Palm Olein – RBDPO)* dan metanol. Kemudian dilakukan analisis rancangan, perancangan ulang prototipe *static mixing reactor*, dan pengujian prototipe *static mixing reactor*. Proses produksi biodiesel secara katalitik yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan secara transesterifikasi menggunakan minyak goreng (RBDPO) dan metanol dengan perbandingan molar 1:6. Katalis yang digunakan katalis KOH 0.5%, dan suhu reaksi 65°C. Reaktor *static mixer* yang digunakan untuk proses pencampuran dan pengadukan terdiri dari dua reaktor *static mixer*. Sistem produksi yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan sistem *continue*, dengan kondisi yang dirancang untuk mengetahui pengaruh panjang *static mixer* terhadap nilai kadar metil ester yang dihasilkan yaitu kondisi transien dan *steady state*. Input perlakuan yang dikaji adalah melewati bahan pereaktan sebanyak satu kali ketika suhu tercapai (A0 = 2 *static mixer*), dilewatkan dua kali (A1 = 4 *static mixer*), dilewatkan tiga kali (A2 = 6 *static mixer*), dan dilewatkan empat kali menuju reaktor *static mixer* (A3 = 8 *static mixer*).

Static mixer yang digunakan terdiri dari 6 segmen berbentuk heliks yang dihasilkan melalui puntir dengan sudut puntir 180°, dengan dimensi tiap segmen yaitu: panjang 4.55 cm, diameter 3.85 cm, dan tebal 0.35 cm. Selanjutnya, biodiesel yang dihasilkan pada tiap perlakuan dianalisis. Parameter yang dianalisis meliputi

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumbar dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



kadar metil ester, angka asam, angka penyabunan, gliserol total, dan *yield* biodiesel.

Hasil penelitian pada kondisi transien dan *steady state* menunjukkan bahwa penggunaan *static mixer* pada masing-masing perlakuan dapat meningkatkan nilai kadar metil ester. Kondisi transien nilai kadar metil ester tertinggi diperoleh pada perlakuan 4 kali pelewatan *static mixing reactor* ($A3 = 8$ *static mixer*) menghasilkan kadar metil ester sebesar 97.92% w/w, angka asam 0.31 mg KOH/g, angka penyabunan 202 mg KOH/g, gliserol total 0.85%, dan *yield* 98.26% w/w,. Kondisi *steady state* nilai kadar metil ester tertinggi diperoleh pada perlakuan 4 kali pelewatan *static mixing reactor* ($A3 = 8$ *static mixer*) menghasilkan kadar metil ester sebesar 96.70% w/w, angka asam 0.17 mg KOH/g, angka penyabunan 202 mg KOH/g, gliserol total 1.42%, dan *yield* 97.04 % w/w.

Kata kunci: biodiesel, katalik, *static mixing reactor*, *static mixer*, kadar metil ester, *yield*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



SUMMARY

CHRISTIAN SOOLANY. Assessment of static mixing reactor on biodiesel production catalytic using a continous system. Supervised by ARMANSYAH H TAMBUNAN and R SUDRADJAT.

Biodiesel is a diesel fuel produced from methyl ester or monoalkyl esters derived from fatty acids or vegetable oils based on renewable raw materials. Until now, two methods are widely used in the biodiesel production process are catalytic and non-catalytic method. Both methods have advantages and disadvantages. Production of biodiesel catalytically requires catalyst to lower the activation energy and stirring for mixing between triglycerides and methanol, but this method requires rigorous stirring because the property of triglycerides and methanol is immiscible (difficult to interfere each other). Good stirring allows to produce a homogenous mixture and reduce the use of catalysts in biodiesel production process. This study used a static mixing reactor prototype, in which there is static mixer serves as a stirrer and KOH as catalyst to produce biodiesel. The use of static mixing reactor in the biodiesel production process is generally carried out using a batch system. The use of the system has several problems like require a large place for big capacity and the existence of a delay time for the next production process. The objective of this study was to design static mixing reactor with continuous system on catalytic biodiesel production process and determine the length of static mixing reactor on biodiesel production process with continuous system in order to obtain methyl ester level based on properly standard.

The initial study was conducted by determining the molarity ratio between triglycerides and calculation of physical properties of the materials used namely cooking oil (Refined Bleached Deodorized Palm Olein - RBDPO) and methanol. Then, the other steps were design analysis, static mixing reactor prototype modification, and test of prototype static mixing reactor. Production process of biodiesel catalytically was conducted with transesterification using cooking oil (RBDPO) and methanol with molar ratio of 1:6. The catalyst used 0.5% KOH, and reaction temperature of 65°C. Production system used in this research was continuous system, with condition designed to determine the effect of lenght static mixer to the value of the resulting methyl ester content are transien conditon and steady state. The treatment was conducted by passing fluid 1 time towards static mixer reactor when the temperature has reached (A0 = 2 static mixer), passed 2 times (A1 = 4 static mixers), passed 3 times (A2 = 6 static mixers), and passed 4 times to the static mixer reactor (A3 = 8 static mixers).

The Static mixers consisted of six helical segments produced by twisting the torsion angle of 180 °, with the dimensions of each segment were as follows: length of 4.55 cm, diameter of 3.85 cm, and thick of 0.35 cm. Furthermore, analyzing process was applied for biodiesel produced in each treatment. The parameters included level of methyl ester, acid number, saponification number, total glycerol, and yield.

The results of the study on the transient and steady-state showed that the use of static mixer on each treatment could increase the levels of methyl esters. The highest content of methyl ester on transient condition obtained in treatment 4 times of passing the static mixing reactor (A3 = 8 static mixer) produced methyl ester

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritrik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

content of 97.92% w / w, acid number of 0.310 mg KOH / g, saponification number of 202 mg KOH / g, total glycerol of 0.85%, and the yield of 98.26% w / w. The highest content of methyl esters on Steady state obtained in treatment 4 times of passing static mixing reactor ($A_3 = 8$ static mixer) produced methyl ester content of 96.70% w / w, acid number 0.170 mg KOH / g, saponification number of 202 mg KOH / g, total glycerol of 1.42%, and the yield of 97.04% w / w.

Keywords: biodiesel, catalytic reaction, static mixing reactor, static mixer, metil ester, and yield

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2014 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB



**KAJIAN PENGGUNAAN *STATIC MIXING REACTOR* PADA PROSES
PRODUKSI BIODISEL SECARA KATALITIK DENGAN
SISTEM *CONTINUE***

CHRISTIAN SOOLANY

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains
pada
Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2014**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Pengujian Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis: Dr Ir Lilik Pujantoro, MAgr

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Judul Tesis : Kajian Penggunaan *Static Mixing Reactor* pada Proses Produksi Biodiesel secara Katalitik dengan Sistem *Continue*

Nama : Christian Soolany

NIM : F151110121

Disetujui oleh

Komisi Pembimbing

Prof Dr Ir Armansyah H Tambunan
Ketua

Prof Dr Ir R. Sudradjat, MScAPU
Anggota

Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Teknik Mesin Pertanian
dan Pangan

Dekan Sekolah Pascasarjana

Dr Ir Y. Aris Purwanto, MSc

Dr Ir Dahrul Syah, MscAgr

Tanggal Ujian: 18 Juni 2014

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

PRAKATA

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis yang berjudul “Kajian Penggunaan *Static Mixing Reactor* pada Proses Produksi Biodiesel secara Katalitik dengan Sistem *Continue*”.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan penghargaan dan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Armansyah H Tambunan dan Bapak Prof. Dr. R. Sudradjat, M.Sc, APU, selaku komisi pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, saran, bimbingan, nasehat, filosofi – filosofi, dan motivasi dengan sangat baik kepada penulis melalui penyusunan proposal sampai penulisan karya ilmiah ini. Koordinator Mayor Teknik Mesin Pertanian dan Pangan (Bapak Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc), Penguji luar komisi Bapak Dr. Ir. Lilik Pujantoro Eko Nugroho, M. Agr, dan staf pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem (Bapak Ahmad Mulyatulloh dan Ibu Siti Rusmiyati). Penghargaan juga penulis sampaikan kepada Dirjen Dikti – Kemendiknas RI atas biaya penelitian melalui hibah kompentitif penelitian nomor 035/SP2H/PL/DI.LITABMAS/V/2013 tanggal 13 Mei 2013.

Rasa terimakasih tak terhingga penulis sampaikan kepada keluarga tercinta Mamakusayang Yatin, SE, MM dan Papaku tercinta Theo Soolany, MA atas doa – doa yang tak pernah putus, dukungan materi, curahan kasih sayang yang tidak terbatas, serta motivasi yang diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya penulisan tesis ini.

Ucapan terimakasih dan simpati juga disampaikan kepada rekan – rekan satu Laboratorium Pindah Panas dan Massa; Bang Agus Susanto Ginting, Agustino L.P Aritonang, Mas Firmansyah, Fuad Insan, Bapak Wahyudin, Dr. Kiman Siregar, STP, M.si, C.Dr. Inge Scropi Tulliza, STP, M.si. Dr. Bayu, Dr. Rosmeika, Bapak Johanis Panggala, Johannes Sipangkar, Well Countryson, Sigit Eko Prasetya, Haga Putranto, Monna, Alya, Deni, Tiara, Ni Putu Dian Nitamiwati, Raju, Akhmad Irfan, Ilham, Danu, dan Pak Harto. Para teknisi dari luar lab, Ibu Sri dan Pak Sobirin. Mba Vindy dan Mba Nisa selaku Admin Lab Pengujian Biodiesel. Pak Dadang Selaku staf Litbang Kehutanan.

Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada Angela Dian Dwinata, STP atas dukungan dan doa-doanya, rekan – rekan TMP 2011; Mas Tri Nugroho Widiyanto, S.si, M.si, Dodik Ariyanto, Fakhrol Irfan Khalil, S.TP, Setya Permana Sutisna, Kak Reni Juliana Gultom, Febi Nopriandi, Drupadi, dan Angga. Para sahabat; Faisal Surya Perwira, S.TP, Helena Ariesty, Resa Denasta Syarif, Dheanti Apriani Arista, Soekarno Ibrahim, Mas Furqon, Ibu Santi Dwi Astuti, Mas Pandu Gunawan, Mas Cecep, mba ii, Jaeni Fakhrudin, Arif Rahman Jabal, Wahyu Abul Karim, dan Suarno Simatupang atas dukungan dan saran yang diberikan kepada penulis. Serta masih banyak lagi ucapan terimakasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pengembangan proses produksi biodiesel di Indonesia.

Bogor, Juni 2014

Christian Soolany



DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| DAFTAR TABEL | ii |
| DAFTAR GAMBAR | ii |
| DAFTAR LAMPIRAN | iii |
| 1 PENDAHULUAN | 1 |
| Latar Belakang | 1 |
| Perumusan Masalah | 2 |
| Tujuan Penelitian | 2 |
| Manfaat Penelitian | 3 |
| 2 TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| Biodiesel | 3 |
| Proses Produksi Biodiesel | 4 |
| Static Mixer | 6 |
| Karakteristik Fisik dan Termal Bahan | 9 |
| 3 METODE PENELITIAN | 11 |
| Waktu dan Tempat Penelitian | 11 |
| Alat dan Bahan Penelitian | 11 |
| Prosedur Penelitian | 12 |
| 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | 22 |
| Hasil Modifikasi <i>Static Mixing Reactor</i> | 22 |
| Hasil Pengujian Laboratorium Biodiesel | 25 |
| Produksi Biodiesel Kondisi Transien | 27 |
| Produksi Biodiesel Kondisi <i>Steady State</i> | 28 |
| 5 SIMPULAN DAN SARAN | 31 |
| Simpulan | 31 |
| Saran | 31 |
| DAFTAR PUSTAKA | 31 |
| LAMPIRAN | 34 |
| RIWAYAT HIDUP | 62 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

DAFTAR TABEL

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Pemakaian katalis basa pada produksi biodiesel | 5 |
| 2. | Rancangan fungsional modifikasi SMR | 16 |
| 3. | Hasil perhitungan sifat fisik dan karakteristik termal bahan | 23 |
| 4. | <i>Head</i> total pompa hasil perancangan ulang SMR | 24 |
| 5. | Hasil analisis laboratorium kondisi transien | 26 |
| 6. | Hasil analisis laboratorium kondisi <i>steady state</i> | 26 |
| 7. | Pengaruh jumlah lapisan yang terbentuk terhadap kadar metil ester | 30 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-----|--|----|
| | Reaksi transesterifikasi | 4 |
| | Pola aliran dengan <i>blade agitator</i> (McCabe <i>et al.</i> 1993) | 6 |
| | Desain <i>static mixer</i> tipe helikal (Wageningen, 2005) | 8 |
| | Bentuk geometri elemen <i>static mixer</i> tipe helikal (Wageningen, 2005) | 8 |
| | Pembagian jumlah elemen di <i>static mixer</i> (Admix, 2012b) | 9 |
| | Aliran fluida dalam <i>static mixer</i> (Admix, 2012b) | 9 |
| | Skematik SMR | 11 |
| | <i>Vaccum evaporator</i> | 12 |
| | Diagram alir penelitian | 13 |
| 8. | Rancangan struktural SMR | 17 |
| 9. | Reaktor <i>static mixer</i> | 17 |
| 10. | Elemen <i>static mixer</i> | 18 |
| 11. | Posisi letak pompa | 18 |
| 12. | <i>Heater</i> | 19 |
| 13. | Ouput produk | 19 |
| 14. | Hasil perancangan ulang prototipe SMR | 22 |
| 15. | a. Kondisi transien; b. Kondisi <i>steady state</i> | 25 |
| 16. | a. Evaporasi kondisi transien; b. Evaporasi kondisi <i>steady state</i> | 26 |
| 17. | Kadar metil ester kondisi transien | 27 |
| 18. | <i>Yield</i> biodiesel kondisi transien | 28 |
| 19. | Kadar metil ester kondisi <i>steady state</i> | 28 |
| 20. | Hubungan lama waktu pencampuran terhadap kadar metil ester | 29 |
| 21. | <i>Yield</i> biodiesel kondisi <i>steady state</i> | 30 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Syarat mutu biodiesel | 34 |
| 2. | Komposisi asam lemak minyak <i>palm olein</i> | 35 |
| 3. | Perhitungan analisis desain <i>static mixing reactor</i> | 35 |
| 4. | Hasil analisis laboratorium | 38 |
| 5. | Perhitungan nilai kadar metil ester | 38 |
| 6. | Perhitungan nilai <i>yield</i> biodiesel | 39 |
| 7. | Prototipe <i>static mixing reactor</i> | 48 |
| 8. | Produk hasil reaksi | 49 |
| 9. | Gambar Teknik | 53 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Biodiesel merupakan alternatif bahan bakar pengganti solar yang bersumber dari minyak nabati ataupun lemak hewani. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan metanol. Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode katalitik dan non katalitik. Kedua metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing. Secara komersil produksi biodiesel umumnya menggunakan metode katalitik. Metode ini membutuhkan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dan mempercepat terjadinya reaksi antara trigliserida dengan metanol. Namun, penggunaan katalis ini mempunyai beberapa permasalahan seperti perlunya proses pemurnian yang panjang, terbentuknya penyabunan (saponifikasi), dan harga dari katalis yang relatif mahal oleh sebab itu, jumlah penggunaannya pada proses produksi biodiesel perlu dikurangi. Penggunaan katalis dapat dikurangi dengan cara memaksimalkan terjadinya tumbukan antara trigliserida dan metanol pada saat pencampuran, yaitu dengan sistem *rigorous mixing* (pengadukan yang kuat). Hal ini dikarenakan sifat *immiscible* (tidak saling campur) antara trigliserida dan metanol.

Sistem pengadukan mekanis yang sudah banyak diterapkan pada proses produksi biodiesel salah satunya menggunakan *blade agitator* yang terangkai di dalam *continous stirrer tank reactor* (CSTR). Penggunaan *blade agitator* masih kurang optimal bila dilakukan pada putaran (rpm) rendah. Bahan-bahan pereaktan dapat bereaksi atau proses reaksi bisa mengarah ke kanan bila diterapkan mekanisme *rigorous mixing* (Darnoko dan Cheryan, 2000). Hal ini berarti dibutuhkan putaran (rpm) yang tinggi dengan daya yang besar untuk proses pengadukan ini. Putaran yang tinggi menyebabkan batang pengaduk yang terangkai pada *blade agitator* lebih cepat mengalami kerusakan karena adanya gaya gesekan yang timbul dari tahanan fluida dan mengakibatkan terbentuknya *vortex* (pusaran). *vortex* yang kuat menyebabkan tidak tercapainya pencampuran yang homogen, hal ini dikarenakan hanya bagian terdekat dari impeler saja yang pengadukan sedangkan bagian terjauh dari impeler cenderung diam (Panggabean, 2011). Menurut Leblebici (2011), kendala lain yang dihadapi dari penggunaan *blade agitator* yaitu, membutuhkan tempat yang besar untuk pengadukan, waktu pengadukan yang relatif lama, dan membutuhkan biaya yang tinggi untuk perawatannya.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan alat yang berfungsi sebagai pengaduk sekaligus pencampuran dalam kondisi statis dengan menggunakan *static mixing reactor* (SMR). SMR terdiri dari reaktor yang didalamnya terdapat *static mixer*, berfungsi untuk mencampur dua jenis fluida atau lebih tanpa kerja mekanik, hanya memanfaatkan aliran dan kekentalan fluida. Proses reaksi di dalam *static mixer* memanfaatkan tumbukan antar partikel senyawa yang bereaksi akibat pergerakan aliran di dalam reaktor. Semakin besar tumbukan yang terjadi di dalam reaktor maka reaksi antar partikel juga akan semakin besar, karena kontak antar bidang permukaan partikel akan semakin sering. Adanya sistem pengadukan yang optimal diharapkan dapat mengurangi penggunaan katalis pada proses produksi biodiesel.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPI.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPI.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Panggabean (2011), menunjukkan bahwa penurunan penggunaan katalis dapat dilakukan sampai dibawah 1% menggunakan satu *static mixer* pada kondisi waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 60°C, dan katalis KOH 0.5% diperoleh kadar metil ester terbaik sebesar 95.82%. Hasil ini kurang optimal karena kadar metil ester yang dihasilkan belum sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang ditetapkan yaitu 96.5% w/w (syarat mutu biodiesel pada Lampiran 1). Aritonang (2013) mencoba melakukan optimasi terhadap penggunaan prototipe SMR yang digunakan oleh Panggabean (2011), dan diperoleh titik optimum pada kondisi waktu reaksi 45 menit, suhu 30°C, dan konsentrasi katalis KOH 0.4% menghasilkan kadar metil ester sebesar 97.41% w/w. Hasil tersebut sudah mencapai nilai standar kadar metil ester yang sudah ditetapkan.

Namun, baik penelitian yang dilakukan oleh Panggabean (2011) dan Aritonang (2013) pada proses produksi biodiesel masih menggunakan sistem *batch*. Proses produksi biodiesel pada sistem tersebut dilakukan dengan mensirkulasi bahan pereaktan (minyak *palm olein*, metanol, dan katalis) secara terus menerus sampai mencapai kondisi yang diinginkan baru kemudian dilakukan proses produksi selanjutnya. Penggunaan sistem ini kurang sesuai untuk produksi biodiesel dengan kapasitas besar. Oleh sebab itu, perlu dilakukan kajian perancangan ulang pada prototipe SMR sehingga proses produksi biodiesel dapat berlangsung dengan sistem *continue*.

Perumusan Masalah

Proses produksi biodiesel secara katalitik umumnya menggunakan sistem *batch*, penerapan sistem ini kurang sesuai jika diterapkan pada kapasitas yang besar, dimana membutuhkan ruang yang besar untuk proses pengadukannya dan adanya jeda waktu untuk produksi selanjutnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan perancangan ulang prototipe SMR menggunakan sistem *continue* pada proses produksi biodiesel. Penggunaan SMR dengan sistem *continue* memiliki beberapa kendala antara lain: penentuan panjang *static mixer* yang harus digunakan untuk menghasilkan kadar metil ester sesuai standar yang ditetapkan, dan bagaimana supaya suhu reaksi tercapai ketika terjadi proses pencampuran dan pengadukan di SMR.

Tujuan Penelitian

1. Merancang SMR dengan sistem *continue* pada proses produksi biodiesel secara katalitik.
2. Menentukan panjang SMR yang dibutuhkan pada proses produksi biodiesel dengan sistem *continue* sehingga diperoleh kadar metil ester sesuai dengan standar.
3. Merancang proses produksi biodiesel dengan SMR yang menggunakan kondisi transien dan *steady state* untuk mengetahui nilai kadar metil ester yang dihasilkan.

Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan proses produksi biodiesel secara *continue* menggunakan prototipe SMR dan menghasilkan kadar metil ester sesuai standar mutu yang sudah ditetapkan.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Biodiesel

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 di dalam 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; Darnoko dan Cheryan, 2000a). 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:

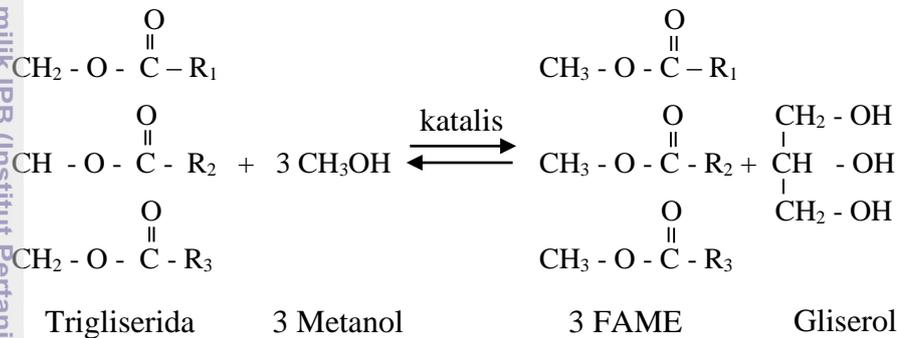
- 1) Menyediakan pasar untuk kelebihan produksi minyak nabati dan lemak hewan.
- 2) Mengurangi, meskipun tidak menghilangkan, ketergantungan Negara dalam mengimpor *petroleum*.
- 3) Biodiesel merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui dan mengurangi dampak pemanasan global karena siklus karbon yang tertutup. Analisis siklus hidup biodiesel menunjukkan bahwa keseluruhan emisi CO₂ 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.

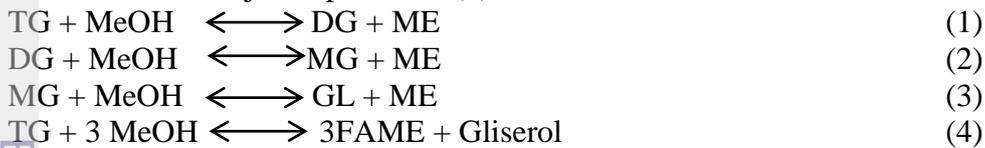
Proses Produksi Biodiesel

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 reaksi, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentersasi katalis yang digunakan, serta jumlah perbandingan mol rasio yang digunakan (Ma dan Hanna, 1999 ; Darnoko dan Cheryan, 2000a ; Sahirman, 2009).

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 (H₂SO₄) atau asam fosfat (H₃PO₄), 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). Kelebihan lain dari penggunaan katalis basa adalah untuk proses transesterifikasi dapat dilakukan pada tekanan dan suhu yang rendah (1 atm, suhu reaksi 60 – 65 °C), molar rasio rendah (1% dari jumlah minyak nabati), waktu reaksi yang relatif cepat (berkisar 1 jam), dan memberikan efek korosi yang rendah terhadap alat yang digunakan untuk proses produksi biodiesel (Alamsyah *et al*, 2010).

Beberapa penelitian yang menggunakan katalis basa pada proses produksi biodiesel secara katalitik yaitu; Widyawati (2007), menggunakan katalis NaOH sebesar 1.32%, menghasilkan biodiesel dengan bilangan asam 0.54 mg KOH/g dan viskositas 4.62 mm²/s. Sahirman (2009), menggunakan katalis NaOH sebesar 1.1 %, menghasilkan biodiesel dengan viskositas 12.3 mm²/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.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

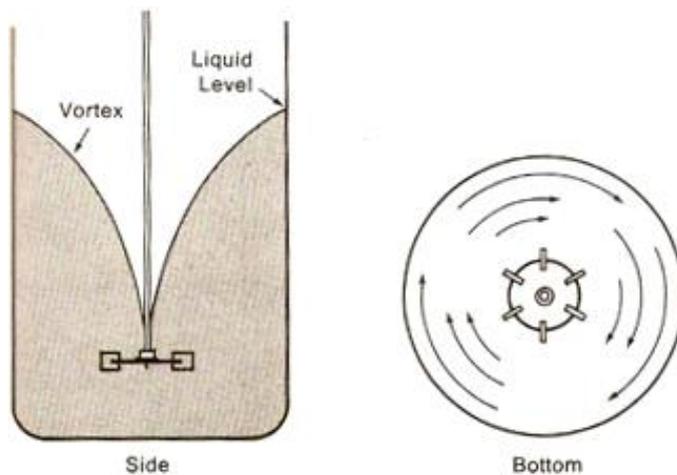
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

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).

Static Mixer

Produksi biodiesel secara katalitik selain dipengaruhi penggunaan katalis, juga dipengaruhi oleh proses pengadukan. Proses pengadukan bertujuan supaya bahan pereaktan (trigliserida dan metanol) dapat bercampur, bertumbukan, dan bereaksi membentuk *fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserol. Pengaduk mekanis yang umum digunakan pada proses produksi biodiesel secara katalitik 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 dengan *blade agitator* (McCabe *et al*. 1993)

Penggunaan *static mixer* dalam produksi biodiesel telah dilakukan sebelumnya oleh Thompson dan He (2007) menggunakan minyak canola, diperoleh metil ester terbaik dicapai pada suhu 60 °C, konsentrasi katalis 1.5% dengan waktu 30 menit. Alamsyah *et al* (2010) juga menggunakan *static mixer* yang dikombinasikan dengan *blade agitator* 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 KOH yang digunakan oleh Alamsyah *et al* (2010) sebanyak 1% menghasilkan metil ester sebesar 98.7% w/w dalam waktu reaksi 20 menit menggunakan minyak *palm olein*. Selanjutnya Panggabean (2011), diperoleh kadar metil ester sebesar 95.82% w/w dalam waktu 30 menit, konsentrasi katalis KOH 0.5%, dan suhu reaksi 60 °C. Aritonang (2013) melakukan optimasi penggunaan dari *static mixer* diperoleh kadar metil ester sebesar 97.41 % w/w, suhu 30 °C, konsentrasi katalis KOH 0.4 %, dengan waktu reaksi 45 menit. 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 H₂SO₄ sebanyak 2.7 % dan menghasilkan metil ester sebesar 97.5 % w/w dalam waktu 20 menit.

Static mixer adalah 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). Fungsi dari *static mixer* adalah membantu kerja katalis dalam mencampur antara trigliserida dan metanol melalui proses pengadukan dengan elemen

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 semaking sering (Panggabean, 2011).

Mekanisme pencampuran fluida yang dihasilkan dengan *static mixer* terdiri atas:

1. *Splitting* (pembagian)
 2. *Stretching* (perengangan)
 3. *Reordering* (pembalikan)
 4. *Recombine* (pencampuran)
- (Kandhai *et al*, 1999).

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

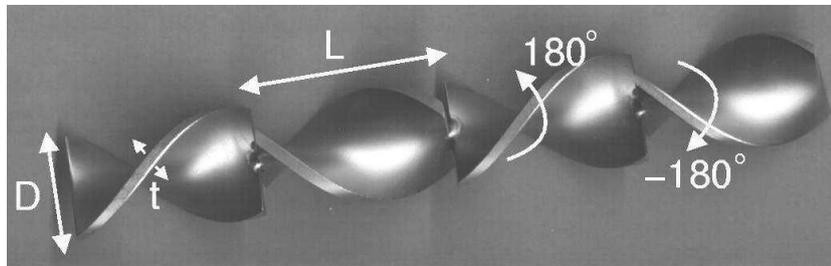
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

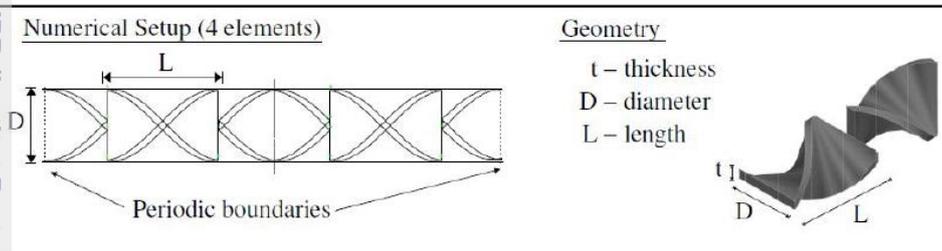
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

lain *stainless steel*, *polypropylene*, *teflon*, *kynar*, dan *polyacetal* (Panggabean, 2011). Salah satu jenis *static mixer* diproduksi oleh Kenics (2007) yaitu *static mixer* dengan tipe helikal digunakan untuk proses pencampuran bahan – bahan yang mempunyai nilai viskositas tinggi ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk bentuk geometri elemen *static mixer* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 Desain *static mixer* tipe helikal (Wageningen, 2005)

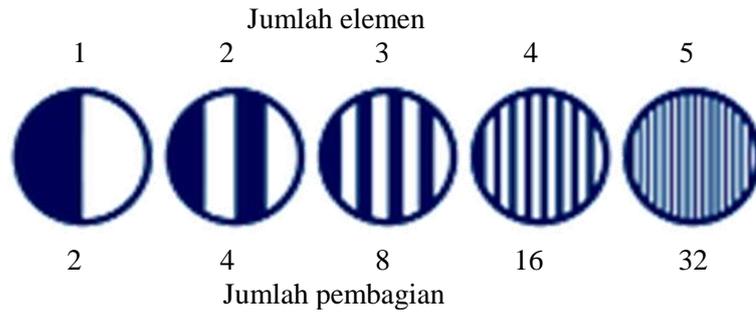


Gambar 4 Bentuk geometri elemen *static mixer* tipe helikal (Wageningen, 2005)

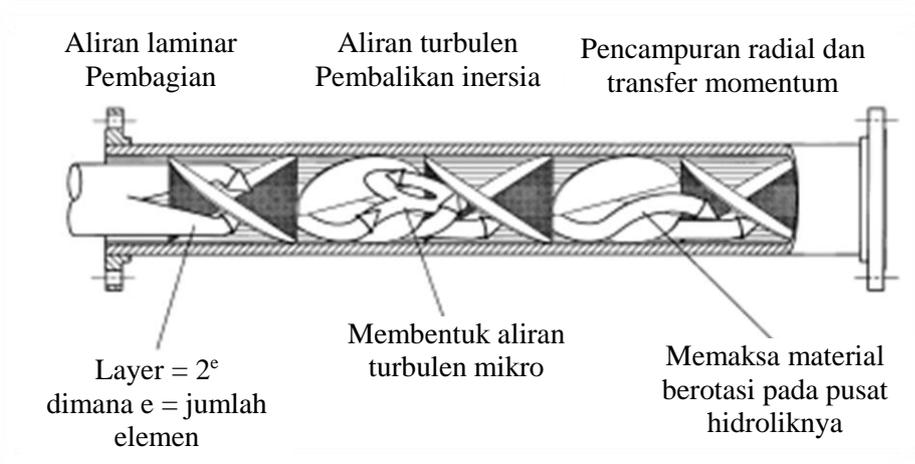
Fluida yang mengalir melewati elemen *static mixer* akan mengalami pencampuran dan pengadukan seolah-olah telah mengalami pengadukan secara *batch* konvensional dalam tangki (Admix, 2012a). Keberhasilan proses pencampuran tergantung pada beberapa variable antara lain: sifat fluida, diameter dalam tabung, jumlah elemen mixer, dan desain geometrik *static mixer*. Desain geometrik *static mixer* 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*) (Godfrey, 1992). Selain itu, bentuk geometri dari *static mixer* juga menyebabkan terbentuknya aliran turbulen mikro, pencampuran radial (sirkulasi dan rotasi bahan di sekitar pusat hidrolis) 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* untuk mendapatkan pola pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk gambar aliran fluida dalam *static mixer* dapat dilihat pada Gambar 6.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 5 Pembagian jumlah elemen di *static mixer* (Admix, 2012b)



Gambar 6 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).

Karakteristik Fisik dan Termal Bahan

Karakteristik fisik dan termal bahan yang digunakan (minyak *palm olein* dan metanol) diperlukan untuk menentukan konsep dan analisis rancangan yang dibuat. Beberapa karakteristik sifat bahan yang harus diketahui antara lain: densitas, viskositas (dinamik dan kinematik), panas jenis, konduktivitas termal, bilangan Reynold, bilangan Nuselt.

Densitas (ρ)

Densitas atau rapat jenis suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dinyatakan dalam massa persatuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung rasio massa (m) zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume (v) bagian tersebut. Satuan yang digunakan adalah kg m^{-3} . Nilai densitas dipengaruhi oleh suhu, semakin tinggi suhu maka densitas suatu fluida semakin kecil karena disebabkan gaya kohesi dari molekul-molekul fluida semakin berkurang (Coupland dan McClements 1997).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (5)$$

Viskositas (ϑ)

Viskositas merupakan ukuran gesekan dalam suatu fluida yang cenderung menghambat pergerakan dinamis dari suatu fluida (Coupland dan McClements 1997). Viskositas terbagi menjadi dua yaitu viskositas kinematik dan dinamik. Viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap densitas (Streeter, 1996).

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

Panas Jenis (c_p)

Panas jenis didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk meningkatkan suhu satuan massa zat tertentu sebesar satu derajat. Pada umumnya energi akan tergantung pada bagaimana proses tersebut terjadi. Dalam termodinamika, terdapat dua macam panas jenis; panas jenis pada volume konstan C_v dan panas jenis pada tekanan konstan C_p . Panas jenis pada tekanan konstan C_p selalu lebih besar dari pada C_v , karena pada tekanan konstan, sistem mengalami ekspansi dan hal tersebut memerlukan energi (Coupland dan McClements 1997).

Konduktivitas Termal (k)

Cengel (2003) menyatakan bahwa konduktivitas termal merupakan laju perpindahan panas melalui suatu lapisan bahan per unit area per unit perbedaan suhu, satuan $\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Nilai konduktivitas termal menunjukkan ukuran kemampuan suatu bahan untuk mengantarkan panas. Nilai konduktivitas termal pada metanol maupun minyak didapatkan dari regresi data pengukuran dalam Cengel (2003) dan Chempro (2010).

Bilangan Nusselt (Nu)

Bilangan Nusselt termasuk kedalam salah satu bilangan parameter yang tak berdimensi. Didefinisikan sebagai perbandingan koefisien pindah panas konveksi dikali panjang karakteristik aliran dengan konduktivitas termal (Cengel 2003).

$$Nu = \frac{h x d}{k} \quad (7)$$

Bilangan Prandtl (Pr)

Bilangan Prandtl menunjukkan perbandingan difusivitas molekul dari momentum dan difusivitas molekul panas (Cengel 2003).

$$Pr = \frac{\mu x c_p}{k} \quad (8)$$

Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds merupakan perbandingan antara gaya inersia dan viskositas dalam suatu fluida. Bilangan Reynolds menunjukkan suatu aliran bersifat turbulen atau laminar. Aliran bersifat turbulen terjadi jika gaya inersia yang merupakan kerapatan dan kecepatan fluida relatif lebih besar terhadap gaya viskos sehingga fluida cenderung acak dan berfluktuasi. Sedangkan aliran laminar terjadi

jika gaya viskos cukup besar untuk mampu menahan gaya inersia yang terjadi dalam aliran fluida dan menjaga fluida untuk tetap berada pada garis aliran (Cengel 2003).

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \tag{9}$$

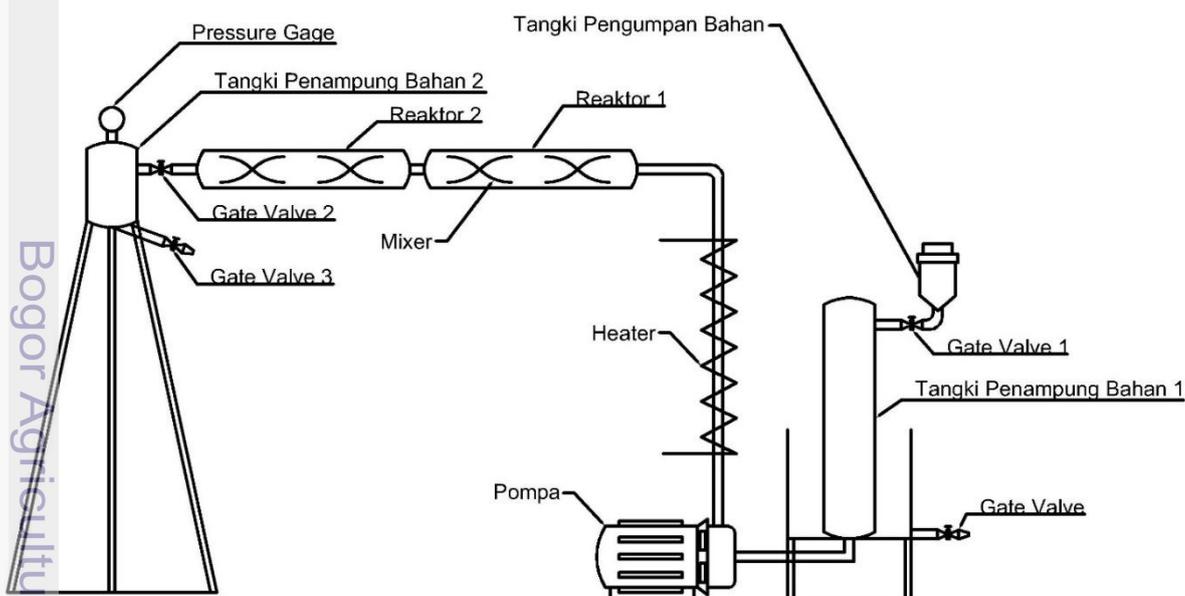
3 METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2013 sampai dengan Januari 2014. Perancangan, perakitan, dan pengujian Prototipe SMR dilakukan di laboratorium Pindah Panas dan Massa, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Analisis evaporasi dilakukan di laboratorium Kimia Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan analisis pengujian kadar metil ester dilakukan di laboratorium pengujian, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk memproduksi biodiesel secara katalitik pada penelitian ini adalah prototipe SMR berkapasitas 3000 ml. Skematik SMR yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan oleh Gambar 7 dan Gambar teknik prototipe SMR pada Lampiran 8.



Gambar 7 Skematik SMR

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Peralatan penunjang lain yang digunakan pada penelitian ini yaitu, gelas ukur 200 ml, gelas ukur 250 ml, labu Erlenmeyer, timbangan digital tipe DJ – A1000, corong pemisah, pH meter, dan botol sampel. Peralatan untuk keamanan digunakan ketika proses produksi biodiesel yaitu masker dan sarung tangan. Alat yang digunakan pada proses evaporasi adalah *vacuum evaporator* dengan merek Buchi ditunjukkan pada Gambar 8.

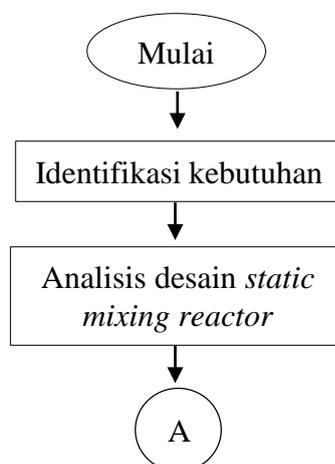


Gambar 8 *Vacuum evaporator*

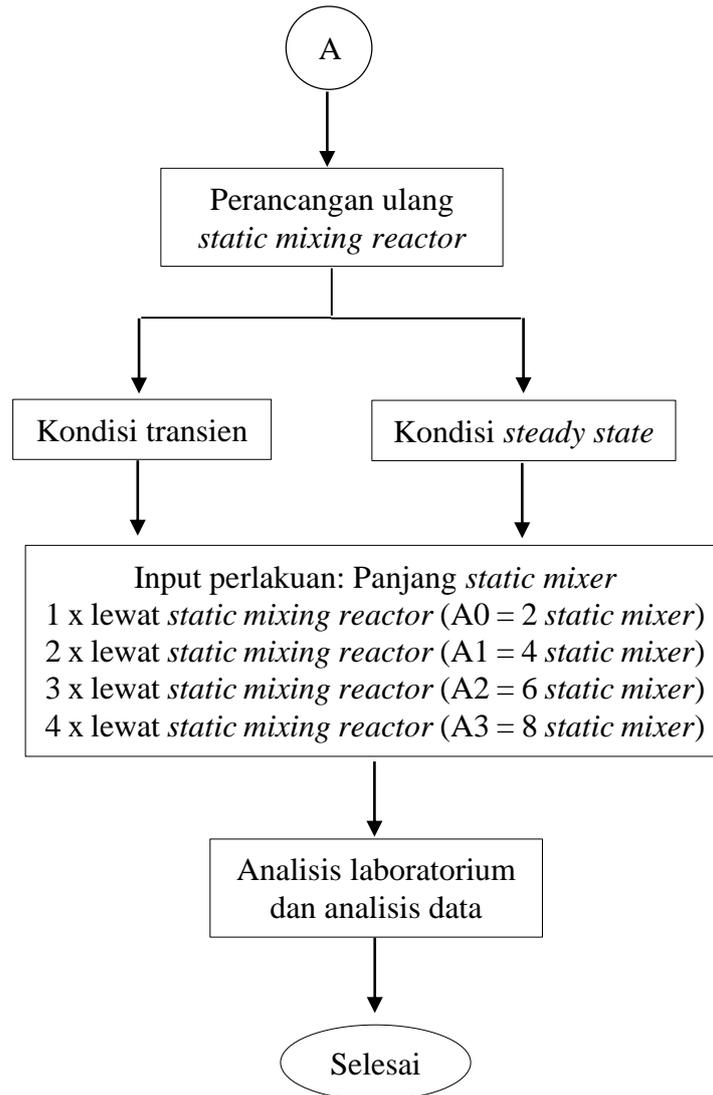
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak *palm olein (Refined Bleached Deodorized Palm Olein- RBDPO)*, metanol teknis, katalis kalium hidroksida (KOH), dan aquades.

Prosedur Penelitian

Proses produksi biodiesel yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua kondisi yaitu, kondisi transien dan kondisi *steady state*. Tujuan diterapkan dua kondisi ini untuk melihat bagaimana pengaruh kenaikan suhu terhadap kadar metil ester yang dihasilkan menggunakan prototipe SMR. Langkah – langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan melalui diagram alir pada Gambar 9.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 9 Diagram alir penelitian

Identifikasi Kebutuhan

Identifikasi kebutuhan prototipe SMR meliputi penentuan karakteristik fisik dan termal dari bahan yang digunakan (fraksi mol minyak *palm olein*, fraksi mol metanol, densitas, viskositas, dan panas spesifik) dan kebutuhan daya yang harus digunakan.

Analisis desain *static mixing reactor*

Penelitian ini merupakan perancangan ulang terhadap prototipe SMR yang dirancang oleh Panggabean (2011). Perancangan ulang ini dilakukan supaya prototipe SMR yang sebelumnya dilakukan secara *batch* dapat digunakan secara *continue*. Sebelum melakukan perancangan ulang dilakukan terlebih dahulu tahap analisis desain terhadap prototipe SMR. Analisis desain yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Menghitung fraksi mol kedua bahan

$$mf_1 = \frac{n_1}{n_{total}} \tag{10}$$

$$mf_2 = \frac{n_2}{n_{total}} \tag{11}$$

dimana,

- mf_1 = fraksi mol minyak
- mf_2 = fraksi mol metanol
- n_1 = mol minyak
- n_2 = mol metanol
- n_{total} = $n_1 + n_2$

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

$$\vartheta_{camp} = mf_1 \cdot \vartheta_1 + mf_2 \cdot \vartheta_2 \tag{12}$$

$$\rho_{camp} = mf_1 \cdot \rho_1 + mf_2 \cdot \rho_2 \tag{13}$$

$$cp_{camp} = mf_1 \cdot cp_1 + mf_2 \cdot cp_2 \tag{14}$$

dimana,

- ϑ_1 = viskositas minyak (m^2/s)
- ϑ_2 = viskositas metanol (m^2/s)
- ρ_1 = densitas minyak (kg/m^3)
- ρ_2 = densitas metanol (kg/m^3)
- cp_1 = panas spesifik minyak ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)
- cp_2 = panas spesifik metanol ($kJ/kg \text{ } ^\circ C$)

3. Debit (Q)

$$Q = \frac{V}{t} \tag{15}$$

dimana,

- Q = debit (m^3/s)
- V = volume (m^3)
- t = waktu (s)

4. Menentukan Head loss total pompa (Ht)

$$H_{total} = hl + h_{statis} + h_{kl} \tag{16}$$

dimana,

- Ht = head loss total pompa (m)
- hl = head kerugian di pipa, katup, belokan, sambungan, dan static mixer (m)
- hstatis = perbedaan tinggi antara output keluaran produk dan sisi isap pompa (m)
- hkl = head kecepatan keluar (m)

a) Perhitungan head loss berbadai kerugian di pipa (hl)

- Head loss akibat gesekan
Head loss pada Jalur pipa (hfg)

$$hfg = f \frac{L V^2}{D 2 g} \tag{17}$$

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \tag{18}$$

(Streeter et al, 1996)

- Head loss housing static mixer (hfg_{sm})

$$hfg_{sm} = \frac{0.0135 f L SG Q^2}{D^5} \tag{19}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

$$f = 0.035$$

(Admix 1998)

- *Head static mixer* (hfm)

$$hfm = hfg_{sm} \cdot f \tag{20}$$

$$f = 8.5 \ln (Re) - 16 \quad (\text{Admix, 1998}) \tag{21}$$

- *Head loss* dalam jalur pipa (hfp)

$$hfp = f \frac{V^2}{2g} \tag{22}$$

- a) Ujung masuk pipa

$$f = 0.5 \quad (\text{Sularso dan Tahara, 2000})$$

- b) Belokan

$$f = 1.129 \quad (\text{Sularso dan Tahara, 2000})$$

- c) Pembesaran penampang secara mendadak

$$f = 1 \quad (\text{Sularso dan Tahara, 2000})$$

- d) Pengecilan penampang secara mendadak

$$f = 0.48 \quad (\text{Sularso dan Tahara, 2000})$$

- e) Ujung keluar pipa

$$f = 1 \quad (\text{Sularso dan Tahara, 2000})$$

- *Head loss* pada katup (hfk)

$$hfk = f \frac{V^2}{2g} \tag{23}$$

$$f = 0.09 \quad (\text{Sularso dan Tahara, 2000})$$

- *Head loss* pada sambungan (hsp)

$$hsp = f \frac{V^2}{2g} \tag{24}$$

$$f = 0.04 \quad (\text{Mechram, 2008})$$

- b) *Head statis* (hfs)

Nilai *head* statis didapatkan dengan mengukur perbedaan tinggi muka fluida di sisi hisap dan di sisi keluar (Sularso dan Tahara, 2000).

- c) *Head* kecepatan keluar (hkl)

$$hkl = \frac{V^2}{2g} \tag{25}$$

5. Perhitungan *pressure drop static mixer* (ΔP_{sm})

$$\Delta P_{sm} = K_T \Delta P \tag{26}$$

$$\Delta P = 4f \frac{L V^2 \rho}{D 2g} \tag{27}$$

$$K_T = 0.5$$

(Paul *et al*, 2003)

- a) Daya fluida (Pf)

Daya fluida merupakan energi yang secara efektif diterima oleh fluida dari pompa per satuan waktu (Sularso dan Tahara, 2000). Nilai untuk daya fluida dituliskan pada persamaan (28).

$$\bullet \text{ Daya Fluida } (Pf) = \rho \times g \times Q \times H_t \tag{28}$$

- b) Daya poros pompa (P)

Daya poros pompa merupakan daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa. Nilai daya poros pompa adalah sama dengan daya fluida

ditambahkan kerugian daya di dalam pompa (Sularso dan Tahara, 2000). Daya poros pompa dapat dinyatakan pada persamaan (29).

- Daya Poros Pompa (P) = $\frac{P_f}{\eta_p}$ (29)

8. Daya heater (Ph)

Panas yang disuplai oleh heater digunakan memanaskan minyak *palm olein* dan metanol ataupun campuran keduanya. Perhitungan kebutuhan panas terhadap heater yang akan digunakan dituliskan pada persamaan (30) dan persamaan (31).

- $q = m \times C_p \times \Delta T$ (30)

- $Ph = \frac{q}{t}$ (31)

9. Perhitungan nilai koreksi terhadap head loss yang tersedia pada pompa

Pompa yang digunakan pada penelitian ini merupakan pompa yang diperuntukkan untuk memompa air, sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap performansi dari pompa terhadap nilai head loss yang tersedia. Perhitungan nilai koreksi terhadap head pompa ditunjukkan pada persamaan (32).

- $H_0 = C_H \times H_w$ (32)

Perancangan ulang static mixing reactor

Perancangan ulang meliputi rancangan fungsional dan rancangan struktural. Rancangan fungsional bertujuan untuk menentukan komponen yang dapat menjalankan fungsi pada prototipe SMR, sedangkan rancangan struktural bertujuan untuk menentukan bentuk, tata letak, dan ukuran komponen pada prototipe SMR.

Rancangan Fungsional

Proses perancangan ulang yang dilakukan yaitu pada bagian reaktor *static mixer*, *heater*, dan output keluaran produk. Setiap fungsi dari masing – masing bagian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

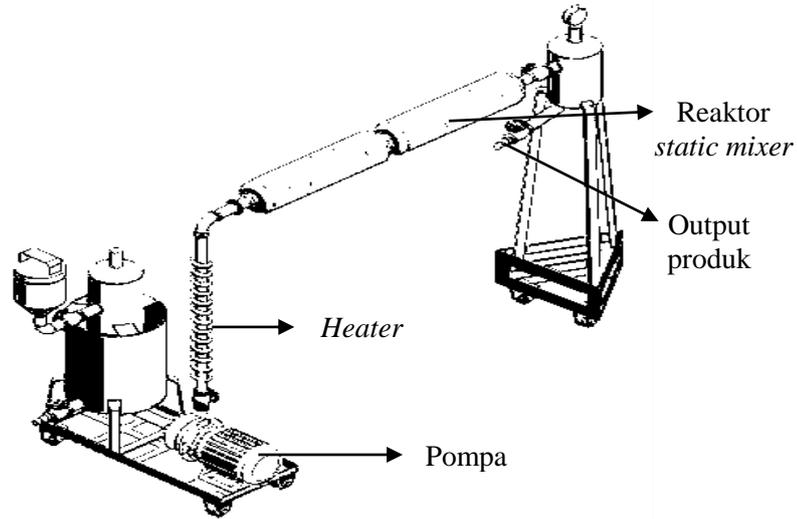
Tabel 2 Rancangan fungsional modifikasi SMR

| Bagian alat | Fungsi |
|-----------------------------|---|
| Reaktor <i>static mixer</i> | Sebagai tempat untuk proses pencampuran dan pengadukan bahan (minyak <i>palm olein</i> dan metanol) |
| Elemen <i>static mixer</i> | Alat pengaduk fluida yang statis |
| Pompa | Untuk mengalirkan bahan menuju reaktor <i>static mixer</i> |
| Heater | Penyedia panas yang dibutuhkan dalam proses produksi biodiesel |
| Output keluaran produk | Sebagai tempat keluaran produk biodiesel |

Rancangan Struktural

Bahan, bentuk, tata letak, dan ukuran merupakan faktor penting pada proses perancangan ulang prototipe SMR, karena ketepatan akan faktor tersebut berdampak pada kinerja prototipe SMR. Rancangan struktural dari perancangan

ulang prototipe SMR terdiri dari reaktor *static mixer*, tata letak pompa, pipa *heater*, dan output keluaran produk. Gambar rancangan struktural ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Rancangan struktural SMR

Reaktor *static mixer*

Reaktor *static mixer* terdiri dari reaktor dan *static mixer* terbuat dari bahan *stainless steel 304* dengan diameter dalam reaktor 4 cm, diameter saluran masuk 1.27 cm, diameter saluran keluar 1.27 cm, dan panjang reaktor 47 cm. Gambar 11 menunjukkan reaktor *static mixer* yang digunakan.



Gambar 11 Reaktor *static mixer*

Elemen *static mixer*

Elemen *static mixer* yang digunakan terdiri dari 6 elemen *mixer* berbentuk heliks. Bentuk heliks tersebut dihasilkan melalui proses puntir dengan sudut puntir 180° pada masing-masing ujung plat yang digunakan sebagai bahan pembuat *static mixer* dan dipuntir dengan arah yang berlawanan. Dimensi elemen *static mixer* terdiri dari diameter *static mixer* 3.85 cm, panjang 1 elemen *static mixer* 4.55 cm, panjang total *static mixer* 27.3 cm, tebal 0.35 cm. Gambar 12 menunjukkan *static mixer* yang digunakan.



Gambar 12 Elemen *static mixer*

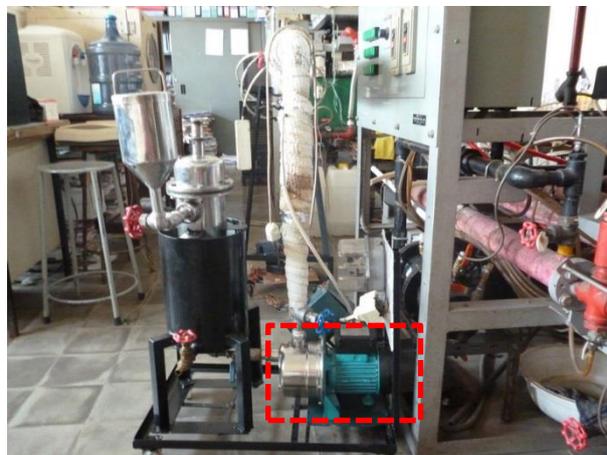
Tata Letak Pompa

Pompa yang digunakan pada penelitian ini merupakan pompa air semi jet pump dengan merek dagang Firman tipe FWP – 61ss, dengan spesifikasi produk daya listrik 200 W, daya hisap 11 m, daya dorong 38 m, total *head* 49 m, dan kapasitas maksimum 40 l/menit. Posisi pompa diletakan dibawah tangki pengumpanan bahan 1 sehingga menyebabkan pompa selalu terisi oleh fluida yang akan dialirkan menuju pipa reaktor *static mixer* sehingga pompa tidak kosong terisi oleh udara, hal ini harus dihindari karena menyebabkan terjadinya kavitasi pada pompa. Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai di bawah tekanan uap jenuhnya (Sularso dan Tahara, 2000).

Bagian – bagian pompa yang sering terkena kavitasi antara lain: sudu – sudu impeler, diffuser, dan bagian dalam dinding rumah pompa. Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya kavitasi yaitu kenaikan temperatur fluida yang dipompakan (Handoko, 2000). Terjadinya kavitasi pada pompa akan memberikan kerugian sebagai berikut:

- a) Penurunan *head* dan kapasitas pompa
- b) Penurunan efisiensi pompa

Pecahnya gelembung – gelembung uap saat saat melalui daerah yang bertekanan lebih tinggi akan menyebabkan suara berisik, getaran, dan kerusakan pada beberapa komponen pompa (Handoko, 2000). Gambar 13 menunjukkan posisi letak pompa pada prototipe SMR.



Gambar 13 Posisi letak pompa

Heater

Heater yang digunakan penelitian ini adalah *heater* turbular dengan panjang 1.3 m, diameter 8 mm, dan daya *heater* terpasang 800 W. Pemilihan jenis *heater* yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan desain posisi pipa *heater* yang dipasang pada prototipe *static mixing reactor* yang dimodifikasi dan ukuran pipa *heater*, dimana pipa *heater* yang digunakan berdiameter 1.27 cm dan panjang pipa 33 cm. Untuk menghindari panas yang keluar ke lingkungan maka pipa *heater* diisolasi secara baik supaya panas tidak keluar dari dalam pipa *heater* menuju lingkungan. Isolasi panas yang digunakan adalah asbestos dan *glasswool*. Kedua insulator panas dililitkan sepanjang pipa – pipa instalasi dalam prototipe *static mixing reactor*. Penggunaan insulasi tersebut didasari pada tingginya temperatur titik leleh dari masing – masing bahan tersebut. Temperatur leleh dari *glasswool* berkisar 2000°C (Lihertlinah *et al*, 2009). Asbestos mempunyai temperatur leleh yang dapat mencapai suhu 800°C (Saragih, 2011). Gambar 14 menunjukkan *heater* yang digunakan.



Gambar 14 *Heater*

Output produk

Output keluaran produk menggunakan valve berukuran diameter dalam 1.27 cm, tebal 0.2 cm. Letak ouput keluaran produk diletakan setelah tangki penampung 2. Peletakan posisi ini diharapkan untuk mempermudah pengambilan output produk hasil proses produksi biodiesel dengan sistem *continue*. Gambar 15 menunjukkan output keluaran produk yang digunakan.



Gambar 15 Ouput produk

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan krititik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Pengujian prototipe SMR dan Input Perlakuan

Prototipe SMR yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 2 reaktor *static mixer*. Untuk pengujian yang dilakukan terhadap prototipe SMR terdiri dari variabel tetap dan variabel bebas. Penentuan parameter yang digunakan pada variabel tetap didasari faktor – faktor yang mempengaruhi reaksi transesterifikasi. Faktor – faktor reaksi transesterifikasi yang digunakan sebagai variabel tetap antara lain: Perbandingan mol minyak *palm olein* dan metanol yang digunakan sebesar 1:6, suhu reaksi sebesar 65°C, dan konsentrasi katalis KOH sebesar 0.5%.

Untuk variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah panjang dari *static mixer*. Penentuan panjang *static mixer* bertujuan untuk mendapatkan campuran yang homogen dengan sistem pengadukan yang optimal. Proses produksi biodiesel dilakukan dengan menggunakan dua kondisi perlakuan panas yaitu kondisi transien dan kondisi *steady state*. Kondisi yang dirancang ini bertujuan untuk melihat besarnya perubahan kadar metil ester yang dihasilkan pada masing – masing kondisi perlakuan panas. Berikut ini proses produksi biodiesel pada kondisi transien dan *steady state*:

- Kondisi transien

Proses produksi biodiesel pada kondisi transien yaitu, dilakukan proses pemanasan terhadap bahan pereaktan (minyak *palm olein*, metanol, dan katalis KOH) terlebih dahulu. Proses ini dimulai dengan pemasukan bahan pereaktan ke dalam tangki penampung 1 dengan suhu awal sebesar 30°C, kemudian suhu *heater* di *setting* menggunakan termostat, selanjutnya pompa dinyalakan untuk mengalirkan bahan pereaktan melewati SMR sampai suhu reaksi sebesar 65°C tercapai. Tahapan selanjutnya setelah suhu reaksi tercapai yaitu melakukan input perlakuan yang dirancang. Input perlakuan yang dirancang adalah:

- 1 kali dilewatkan SMR (A0 = 2 *static mixer*)
- 2 kali dilewatkan SMR (A1 = 4 *static mixer*)
- 3 kali dilewatkan SMR (A2 = 6 *static mixer*)
- 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*)

Produk yang dihasilkan dari perlakuan 1 kali dilewatkan SMR (A0 = 2 *static mixer*) ditampung di dalam botol. Waktu yang dibutuhkan pada proses pengambilan sampel produk sebesar 2 menit. Selanjutnya bahan pereaktan kembali dimasukkan ke dalam tangki pengumpul bahan 1 kemudian dilewatkan menuju SMR untuk perlakuan berikutnya.

- Kondisi *steady state*

Proses produksi biodiesel pada keadaan *steady state* yaitu, dilakukan proses pemanasan terlebih dahulu terhadap prototipe SMR. Proses pemanasan dilakukan dengan memasukan blanko (bahan pereaktan) ke dalam tangki pengumpul bahan 1, kemudian suhu *heater* di *setting* menggunakan termostat, selanjutnya pompa dijalankan sampai suhu reaksi tercapai. Setelah suhu reaksi tercapai blanko dikeluarkan dari prototipe SMR, kemudian dimasukkan bahan pereaktan yang baru untuk dilakukan input perlakuan sesuai dengan rancangan pada kondisi transien. Untuk setiap perlakuan yang dirancang pada kondisi *steady state* menggunakan bahan pereaktan yang baru.

Produk biodiesel yang dihasilkan dari kondisi transien dan kondisi *steady state* dilakukan proses pengendapan. Proses pengendapan ini bertujuan supaya

biodiesel dan gliserol sudah terpisah menjadi dua lapisan. Tahap selanjutnya dilakukan proses pemisahan biodiesel dengan gliserol menggunakan pipet. Biodiesel yang sudah dipisahkan dengan gliserol selanjutnya dilakukan proses pencucian menggunakan akuades. Proses pencucian dilakukan sampai air bilasan dari hasil pencucian memiliki pH 7 atau netral. Biodiesel hasil proses pencucian selanjutnya dievaporasi menggunakan *vaccum evaporator*. Suhu yang di *setting* pada *vaccum evaporator* adalah 65°C. Biodiesel hasil proses evaporasi selanjutnya dilakukan analisis laboratorium.

Analisis Laboratorium dan Analisis Data

Analisis laboratorium yang dilakukan antara lain: analisis kadar FFA yang terkandung pada minyak *palm olein* menggunakan metode SNI 01-3555-1998 dan terhadap sampel biodiesel yang sudah dievaporasi. Analisis laboratorium yang dilakukan pada biodiesel meliputi:

- 1) Angka asam (SNI 7182-2012)

$$\text{Angka asam (mg KOH/g)} = \frac{56.1 \times V \times N}{m} \quad (33)$$

dimana,

V : volume larutan KOH dalam alkohol yang diperlukan dalam titrasi (ml)

T : normalitas larutan KOH dalam alkohol

m : berat sampel alkil ester (g)

- 2) Analisis angka penyabunan (SNI 7182-2012)

$$\text{Angka penyabunan (As)} = \frac{56.1 (B - C) \text{ ml} \cdot N}{m} \times 5.61 \quad (34)$$

dimana,

B : volume larutan natrium tiosulfat yang habis dalam titrasi blanko (ml)

C : volume larutan natrium tiosulfat yang habis dalam titrasi sampel (ml)

N : normalitas larutan HCl (0.5 N)

W : berat sampel alkil ester yang ditimbang untuk analisis (g)

- 3) Analisis kadar gliserol total (SNI 7182-2012)

$$\text{Gtotal (\%)} = \frac{2.302 (B - C) \times N}{W} \quad (35)$$

dimana,

B : volume natrium tiosulfat yang habis dalam titrasi blanko (ml)

C : volume natrium tiosulfat yang habis dalam titrasi sampel (ml)

N : normalitas eksak larutan natrium tiosulfat

W : $\frac{\text{Berat sampel} \times \text{ml sampel}}{900}$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Perhitungan nilai kadar metil ester dan nilai *yield* biodiesel ditunjukkan pada persamaan (36) dan persamaan (37)

1) Kadar metil ester

$$\text{Kadar metil ester (\% w/w)} = \frac{100 (As - Aa - 4.57G_{total})}{As} \quad (36)$$

dimana,

As : 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.

G_{total} : Kadar gliserol total dalam biodiesel yang ditentukan dengan metoda Ca 14 – 56, % massa (BSN, 2012).

2) *Yield*

$$\text{Yield} = \frac{\text{massa methyl ester}}{\text{Massa awal minyak}} \times 100\% \quad (37)$$

(Joelianingsih, 2008)

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Modifikasi *Static Mixing Reactor*

Hasil perancangan ulang prototipe SMR ditunjukkan pada Gambar 16. Prototipe tersebut terdiri dari tangki pengumpan bahan, tangki pengumpul 1, pompa, pipa *heater*, reaktor *static mixer*, tangki pengumpul 2, dan output keluaran produk. Untuk Gambar teknik perancangan ulang prototipe SMR ditunjukkan pada Lampiran 9.



Gambar 16 Hasil perancangan ulang prototipe SMR

Bahan yang digunakan pada desain prototipe SMR terbuat dari *stainless steel* 304. Keunggulan penggunaan bahan *stainless steel* 304 antara lain: memiliki ketahanan korosi yang baik, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan *stainless steel* 316, dan mudah diperoleh dipasaran. Pemilihan bahan dasar *stainless steel* 304 dikarenakan bahan baku (minyak *palm olein*) yang digunakan pada proses produksi biodiesel mengandung asam lemak bebas. Adanya asam lemak menyebabkan terjadinya korosi sehingga digunakan *stainless steel* 304 sebagai bahan dasar pembuatan prototipe SMR.

Hasil perhitungan sifat fisik dan karakteristik termal bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil perhitungan sifat fisik dan karakteristik termal bahan

| Parameter | Nilai | Satuan |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1. Fraksi mol bahan | | |
| Minyak <i>palm olein</i> | 0.14 | |
| Metanol | 0.86 | |
| 2. Densitas (ρ) | | |
| Minyak <i>palm olein</i> | 887.5 | kg/m ³ |
| Metanol | 779.1 | kg/m ³ |
| Campuran | 794.59 | kg/m ³ |
| 3. Viskositas (ϑ) | | |
| Minyak <i>palm olein</i> | 3.96×10^{-5} | m ² /s |
| Metanol | 6.53×10^{-7} | m ² /s |
| Campuran | 1.17×10^{-6} | m ² /s |
| 4. Panas spesifik (cp) | | |
| Minyak <i>palm olein</i> | 1.875 | kJ/kg C |
| Metanol | 2.55 | kJ/kg C |
| Campuran | 2.46 | kJ/kg C |
| 5. Prandtl number (Pr) | | |
| Minyak <i>palm olein</i> | 0.632 | |
| Metanol | 6.62 | |
| Campuran | 5.76 | |
| 6. Konduktivitas termal (ρ) | | |
| Minyak <i>palm olein</i> | 0.172 | W/m C |
| Metanol | 0.198 | W/m C |
| Campuran | 0.194 | W/m C |

Data yang diperoleh dari sifat fisik dan karakteristik termal bahan digunakan untuk menghitung kebutuhan analisis desain prototipe SMR. Perhitungan analisis desain hasil perancangan ulang SMR meliputi analisis *head loss* total pompa, *pressure drop* yang terjadi pada *static mixer*, kebutuhan daya poros pompa, kebutuhan daya heater, dan daya fluida. Perhitungan nilai *head loss* total pompa diperoleh dengan menggunakan persamaan (16). Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan nilai *head loss* total pompa yang terjadi selama proses produksi biodiesel.

Nilai *head loss* total pompa yang dihasilkan dari perhitungan terhadap desain SMR yang dibuat adalah 36.13 m. Nilai ini merupakan nilai *head loss* yang harus disediakan oleh pompa supaya fluida (minyak *palm olein* dan metanol) dapat mengalir sesuai dengan rancangan yang dibuat. *Head* pompa yang tersedia oleh

pompa yang digunakan dalam penelitian ini adalah 38 m. Namun, nilai *head* yang tersedia diperuntukan untuk memompakan air yang mempunyai nilai viskositas sebesar $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ sedangkan pada penelitian ini bahan pereaktan (trigliserida dan metanol) mempunyai viskositas sebesar $1.17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ atau lebih tinggi dibandingkan dengan nilai viskositas air, sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap nilai *head* dari pompa. Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat pada persamaan (32), nilai koreksi performansi terhadap *head* pompa menjadi 39.14 m. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan *head* total pompa yang dihasilkan dari desain SMR sebesar 36.13 m sehingga fluida dapat mengalir dan proses produksi biodiesel dapat berjalan.

Tabel 4 *Head* total pompa hasil perancangan ulang SMR

| <i>Head</i> | Nilai | Satuan |
|--|-----------------------|--------|
| <i>Head</i> kerugian gesek dalam pipa (hfg) | 0.020 | m |
| <i>Head</i> kerugian gesek <i>housing static mixer</i> (hfgsm) | 0.72 | m |
| <i>Head</i> kerugian jalur pipa (hfp) | | |
| 1) Ujung masuk pipa | 1.99×10^{-4} | m |
| 2) Belokan | 3.61×10^{-3} | m |
| 3) Pembesaran penampang secara mendadak | 1.93×10^{-2} | m |
| 4) Pengecilan penampang secara mendadak | 9.28×10^{-3} | m |
| <i>Head</i> kerugian pada katup (hfk) | 0.003 | m |
| <i>Head static mixer</i> (hfm) | 34.81 | m |
| <i>Head</i> akibat sambungan pada pipa (Hsp) | 4.42×10^{-8} | m |
| <i>Head</i> statis (hfs) | 0.53 | m |
| <i>Head</i> kecepatan keluar (hkl) | 0.0161 | m |
| <i>Head</i> Total | 36.13 | m |

Nilai *head loss* terbesar yaitu pada *static mixer* sebesar 34.81 m. Besarnya nilai *head loss* yang terjadi ini disebabkan bentuk geometri dari elemen *static mixer* yang berbentuk heliks. Hal ini menyebabkan fluida (minyak *palm olein* dan metanol) yang awalnya bergerak mengikuti jalur pipa mengalami tahanan pada saat melewati elemen *static mixer*. Tahanan ini menyebabkan terjadinya penurunan tekanan pada aliran fluida. *Pressure drop* yang terjadi pada *static mixer* sebesar 0.15 bar atau 2.91 psi.

Perhitungan kebutuhan daya yang dikaji meliputi daya fluida dan daya poros pompa. Daya fluida adalah energi yang secara efektif diterima oleh fluida dari pompa per satuan waktu (Sularso dan Tahara, 2000), sedangkan daya poros pompa yang digunakan untuk menggerakkan sebuah pompa adalah sama dengan daya fluida ditambahkan kerugian daya di dalam pompa (Sularso dan Tahara, 2000). Perhitungan daya yang dibutuhkan untuk fluida dapat mengalir menggunakan persamaan (28). Kebutuhan daya fluida hasil perhitungan sebesar 103.88 Watt. Daya poros pompa yang diperoleh dari perhitungan pada persamaan (29) adalah sebesar 148.40 Watt. Daya pompa terpasang yang digunakan pada penelitian ini sebesar 200 Watt sedangkan kebutuhan daya minimum pompa hanya 148.40 Watt. Daya *heater* minimum yang dibutuhkan dari hasil perhitungan adalah 682.04 Watt, sedangkan daya *heater* terpasang yang digunakan pada penelitian ini adalah 800 Watt sehingga proses pemanasan fluida dapat tercapai dengan baik.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hasil Pengujian Laboratorium Biodiesel

Biodiesel yang dihasilkan pada penelitian ini baik dalam kondisi transien ataupun kondisi *steady state* menghasilkan dua lapisan yang terbentuk, yaitu biodiesel pada lapisan atas dan gliserol pada lapisan bawah. Terbentuknya dua lapisan ini karena adanya perbedaan berat jenis, dimana berat jenis metil ester sebesar 0.88 g/cm^3 (Srivastava, 2000) dan gliserol sebesar 1.26 g/cm^3 (Appleby, 2004). Gambar 17 menunjukkan hasil proses produksi biodiesel dari masing – masing perlakuan pada kondisi transien dan *steady state*.



Gambar 17. a. Kondisi transien; b. Kondisi *steady state*

Biodiesel hasil proses produksi selanjutnya diendapkan supaya biodiesel dan gliserol yang dihasilkan sudah benar – benar terpisah menjadi dua lapisan. Setelah dilakukan proses pengendapan tahap selanjutnya dilakukan proses pemisahan antara biodiesel dengan gliserol. Pemisahan biodiesel dengan gliserol ini dilakukan karena gliserol dapat membentuk senyawa akrolein dan terpolimerisasi menjadi senyawa plastis yang agak padat. Senyawa ini akan membentuk deposit, hal inilah yang tidak diinginkan karena akan menyebabkan kerusakan pada mesin (Prihandana *et al*, 2006).

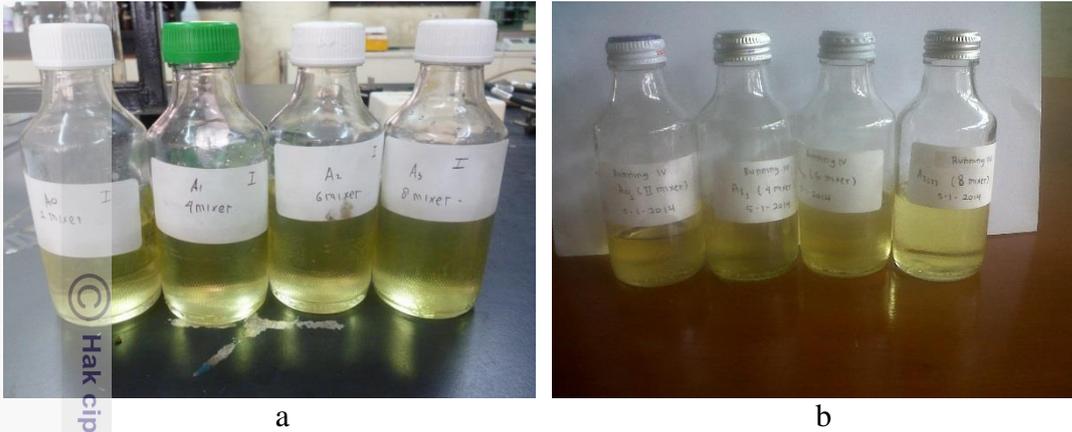
Biodiesel yang sudah dipisahkan dengan gliserol, selanjutnya dilakukan proses pencucian dengan menggunakan akuades. Proses ini bertujuan untuk memisahkan sisa – sisa katalis KOH dan sisa - sisa gliserol yang masih bercampur dengan biodiesel. Proses pencucian ini dilakukan sampai air bilasan hasil proses pencucian sudah memiliki nilai pH netral. Sampel biodiesel hasil proses pencucian dari masing – masing perlakuan, selanjutnya dilakukan proses evaporasi. Proses evaporasi bertujuan untuk menghilangkan sisa – sisa metanol dan air yang masih terkandung di dalam biodiesel hasil proses pencucian. Hal Suhu yang digunakan pada proses evaporasi adalah 65°C . Sampel biodiesel yang sudah dievaporasi selanjutnya dilakukan analisis laboratorium. Gambar 18 menunjukkan biodiesel hasil proses evaporasi masing – masing perlakuan pada kondisi transien dan *steady state*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 18 a. Evaporasi kondisi transien; b. Evaporasi kondisi *steady state*

Hasil analisis laboratorium terhadap masing – masing sampel biodiesel dilakukan untuk mengetahui kualitas dari biodiesel yang dihasilkan. Pengukuran kualitas biodiesel mengacu kepada syarat mutu biodiesel yang sudah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN). Pengukuran yang dilakukan terhadap biodiesel yang dihasilkan meliputi angka penyabunan, angka asam, dan gliserol total. Hasil analisis angka penyabunan, angka asam, dan gliserol total yang dilakukan pada sampel biodiesel dari masing – masing perlakuan disajikan pada Tabel 5 untuk kondisi transien dan Tabel 6 untuk kondisi *steady state*.

Tabel 5 Hasil analisis laboratorium kondisi transien

| Perlakuan | Angka penyabunan (mg KOH/g) | Angka asam (mg KOH/g) | Gliserol total (%) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Transien | 201 | 0.160 | 1.44 |
| A0 | 201 | 0.295 | 1.10 |
| A1 | 201 | 0.265 | 1.01 |
| A2 | 201 | 0.270 | 0.90 |
| A3 | 202 | 0.310 | 0.85 |

Tabel 6 Hasil analisis laboratorium kondisi *steady state*

| Perlakuan | Angka penyabunan (mg KOH/g) | Angka asam (mg KOH/g) | Gliserol total (%) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| A0 | 201 | 0.240 | 3.41 |
| A1 | 201 | 0.235 | 2.41 |
| A2 | 201 | 0.180 | 1.76 |
| A3 | 202 | 0.170 | 1.42 |

Data yang diperoleh dari Tabel 5 dan Tabel 6 dijadikan dasar perhitungan untuk menentukan nilai kadar metil ester yang dihasilkan, dimana nilai kadar metil ester merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan. Nilai kadar metil ester menunjukkan besarnya perubahan minyak *palm olein* menjadi biodiesel (*fatty acid methyl ester*). Semakin tinggi nilai kadar metil ester yang dihasilkan, maka semakin banyak minyak *palm olein* yang terkonversi menjadi biodiesel. Parameter lain yang juga dihitung adalah

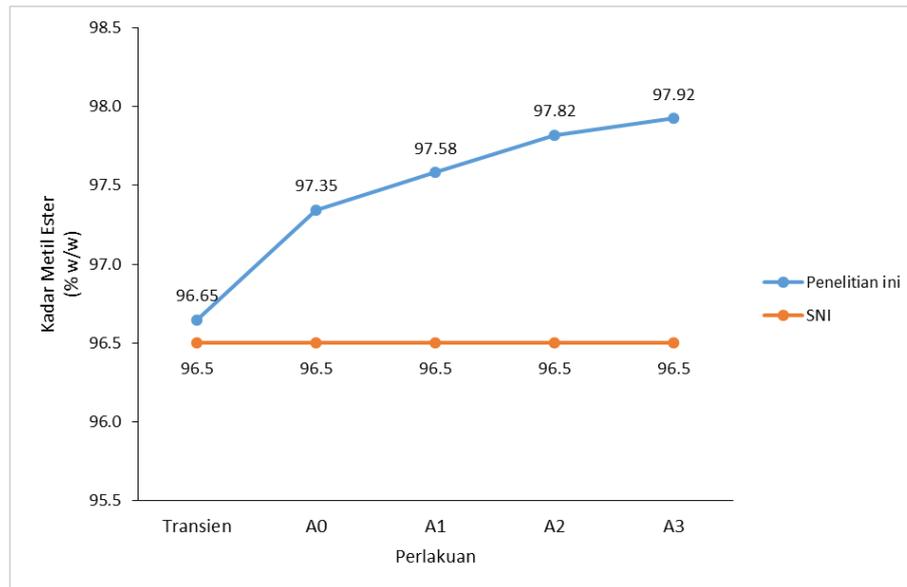
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

nilai *yield* biodiesel. Nilai *yield* biodiesel menunjukkan persentase massa dari banyaknya metil ester yang dihasilkan per massa minyak awal.

Produksi Biodiesel Kondisi Transien

Pemanasan pada kondisi transien yaitu proses pemanasan yang berlangsung sebelum suhu benda berada pada keadaan seimbangan. Nilai kadar metil ester yang dihasilkan pada kondisi transien ditunjukkan pada Gambar 19.

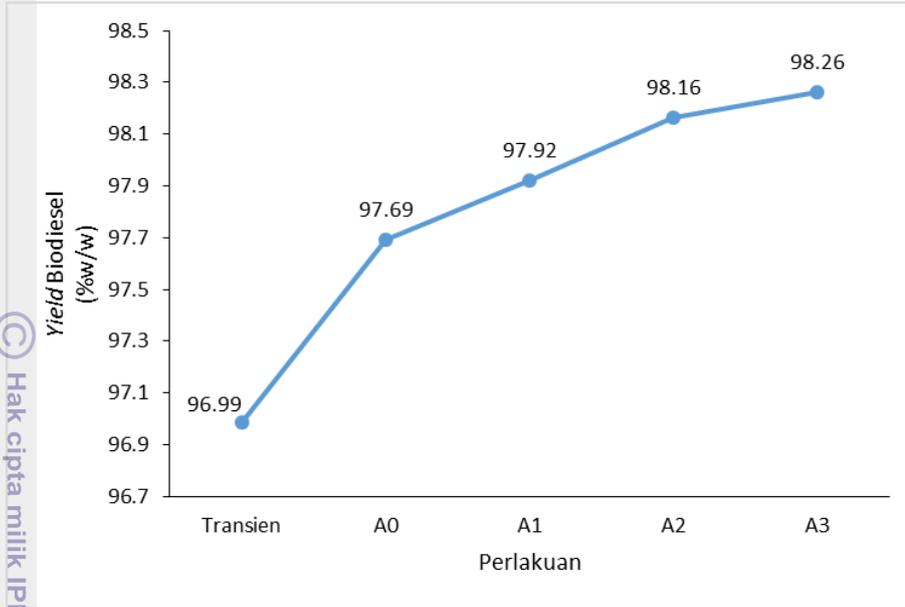


Gambar 19 Kadar metil ester kondisi transien

Nilai kadar metil ester yang dihasilkan pada kondisi transien yang menunjukkan terjadinya peningkatan nilai kadar metil ester yang dihasilkan untuk semua perlakuan dan sudah mencapai SNI. Nilai kadar metil ester terendah dihasilkan pada saat kondisi transien sebesar 96.65 % w/w. Nilai ini sudah berada diatas SNI yang sudah ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi sudah terjadi sebelum suhu reaksi yang diinginkan tercapai. Untuk nilai kadar metil ester tertinggi dihasilkan pada kondisi transien adalah pada perlakuan 4 kali dilewatkan SMR setelah suhu tercapai sebesar 97.92 % w/w (A3 = 8 *static mixer*) dengan konsentrasi katalis KOH sebesar 0.45 %.

Parameter lain yang juga dihitung yaitu *yield*. Hasil perhitungan *yield* biodiesel kondisi transien ditunjukkan pada Gambar 20. Nilai *yield* yang dihasilkan pada Gambar 20, menunjukkan bahwa adanya penambahan elemen *static mixer* dapat meningkatkan *yield* biodiesel yang dihasilkan. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kadar metil ester yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar metil ester yang dihasilkan maka *yield* biodiesel yang dihasilkan juga semakin tinggi. *Yield* biodiesel tertinggi yang dihasilkan pada kondisi transien diperoleh pada perlakuan 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) sebesar 98.26 % w/w.

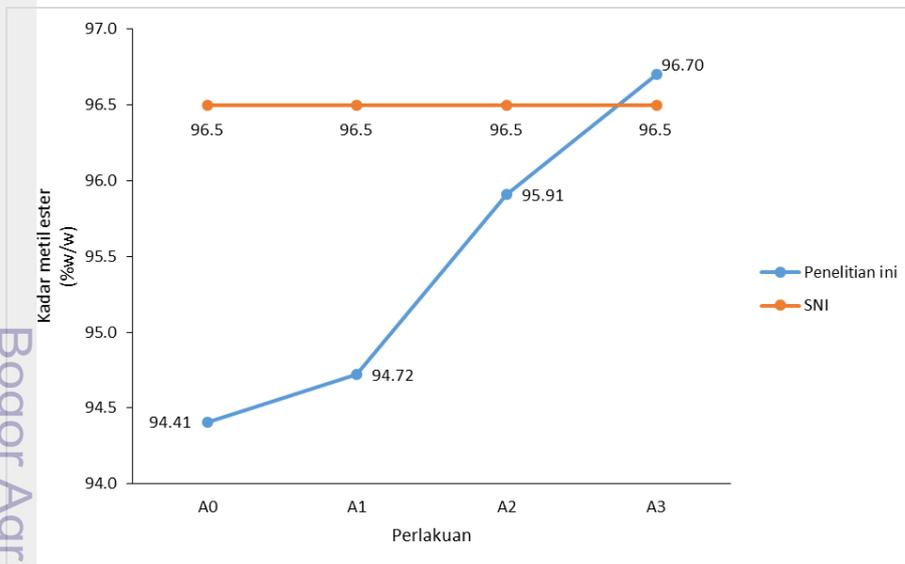
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 20 Yield biodiesel kondisi transien

Produksi Biodiesel Kondisi *Steady State*

Pemanasan pada kondisi *steady state* yaitu proses pemanasan yang berlangsung pada waktu tertentu sampai suhu benda yang dipanaskan mencapai keadaan setimbang. Kadar metil ester yang dihasilkan pada kondisi *steady state* ditunjukkan pada Gambar 21.

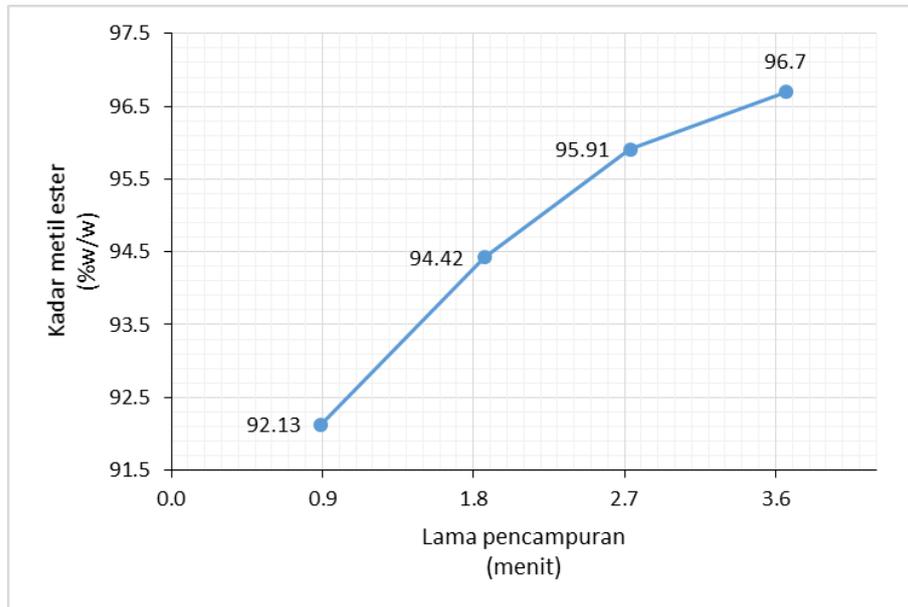


Gambar 21 Kadar metil ester kondisi *steady state*

Gambar 21 menunjukkan bahwa bahwa dari masing – masing perlakuan pada kondisi *steady state* hanya perlakuan 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) menghasilkan kadar metil ester yang mencapai SNI. Nilai ini sudah berada di atas

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

standar minimal yang sudah ditetapkan sebesar 96.5 % w/w. Perlakuan A0, A1, dan A2 belum mencapai kadar metil ester yang sudah ditetapkan. Salah satu faktor yang menyebabkan hal ini adalah pencampuran perlakuan A3 lebih lama dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Lama waktu pencampuran perlakuan A3 adalah 3.7 menit. Gambar 22 menunjukkan hubungan antara lama pencampuran bahan pereaktan di dalam *static mixer* terhadap kadar metil ester yang dihasilkan.



Gambar 22 Hubungan lama waktu pencampuran terhadap kadar metil ester

Selama waktu pencampuran tersebut, tumbukan antara trigliserida dengan metanol terjadi dan bereaksi membentuk *fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserol. Semakin tinggi intensitas tumbukan yang terjadi di dalam reaktor maka reaksi transesterifikasi dapat terjadi. Menurut Reyes *et al* (2010), reaksi yang melibatkan campuran fluida yang tidak terlarut membutuhkan intensitas pengadukan yang besar supaya reaksi dapat terjadi.

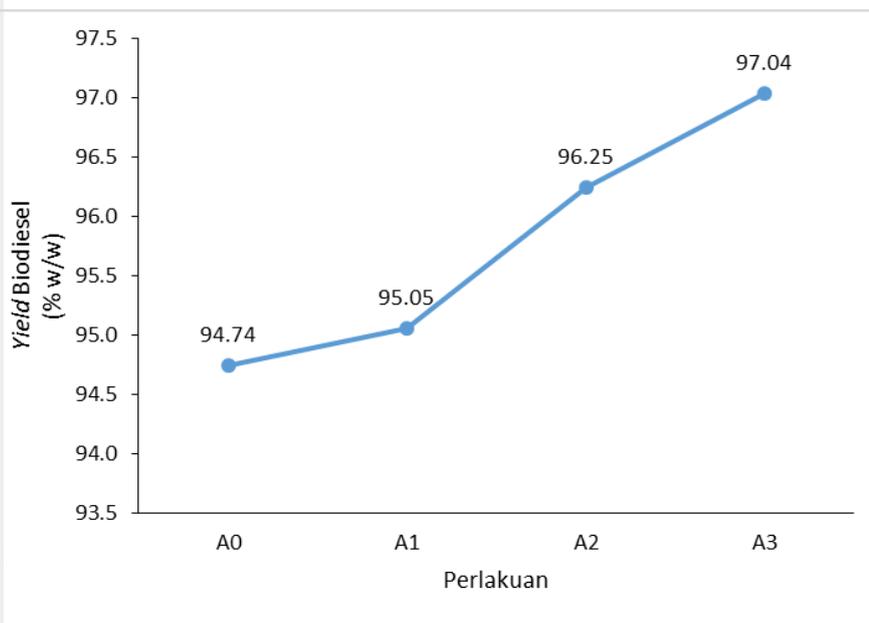
Meningkatnya intensitas tumbukan antara trigliserida dan metanol yang terjadi di dalam reaktor *static mixer* juga dipengaruhi oleh bentuk geometri dari elemen *static mixer* yang menyerupai heliks, dimana pada setiap tepi dari elemen *static mixer* akan mengalami pembagian dua lapisan dan akan mengalami pembagian lagi pada tepi elemen berikutnya sehingga peningkatannya akan setara dengan 2^n dimana n adalah jumlah elemen dari *static mixer* yang digunakan (Godfrey, 1992). Elemen *static mixer* yang digunakan pada penelitian ini untuk satu reaktor *static mixer* terdiri dari 6 segmen sehingga lapisan yang terbentuk untuk satu reaktor *static mixer* akibat adanya mekanisme pembagian di dalam reaktor *static mixer* adalah 64 lapisan. Pada penelitian ini menggunakan dua reaktor *static mixer*, sehingga untuk perlakuan 1 kali melewati SMR ($A0 = 2 \text{ static mixer}$) jumlah lapisan yang terbentuk sebanyak 128 lapisan yang terdiri dari 12 segmen. Tabel 7 menunjukkan pengaruh jumlah lapisan yang terbentuk dari elemen *static mixer* terhadap kadar metil ester yang dihasilkan.

Tabel 7 Pengaruh jumlah lapisan yang terbentuk terhadap kadar metil ester

| Perlakuan | Lapisan yang terbentuk (2 ⁿ) | Kadar metil ester (% w/w) |
|-----------|--|---------------------------|
| A0 | 128 | 92.13 |
| A1 | 256 | 94.42 |
| A2 | 384 | 95.91 |
| A3 | 512 | 96.70 |

Berdasarkan jumlah lapisan yang terbentuk pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa semakin banyak lapisan yang terbentuk maka nilai kadar metil ester yang dihasilkan mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan proses pencampuran antara trigliserida dan metanol semakin baik dan campuran yang dihasilkan semakin homogen. Campuran yang homogen akan membantu terjadinya reaksi transesterifikasi yang menghasilkan biodiesel. Jumlah lapisan terbanyak diperoleh pada perlakuan 4 kali melewati SMR (A3 = 8 *static mixer*). Menurut Noritake (2010), proses pencampuran fluida yang mempunyai viskositas tinggi semakin banyak segmen yang digunakan maka campuran yang dihasilkan akan semakin homogen.

Nilai *yield* biodiesel yang dihasilkan pada kondisi *steady state* ditunjukkan pada Gambar 24. Nilai *yield* biodiesel tertinggi dihasilkan pada perlakuan 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) sebesar 97.04 % w/w.



Gambar 23 Yield biodiesel kondisi *steady state*

Berdasarkan nilai kadar metil ester dan nilai *yield* biodiesel yang dihasilkan pada kondisi *steady state* perlakuan terbaik adalah 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) menghasilkan nilai kadar metil ester sebesar 96.70 % w/w dan *yield* 97.04 % w/w. Sehingga untuk mendapatkan nilai tersebut dibutuhkan 48 segmen elemen *static mixer*. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *yield*, biodiesel yang dihasilkan adalah 2.28 Liter dengan kapasitas bahan pereaktan yang dirancang pada prototipe ini sebesar 3 Liter untuk satu kali proses. Debit laju aliran fluida bahan pereaktan sebesar $7.133 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

5 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Perancangan ulang SMR dari sistem *batch* menjadi *continue* untuk proses produksi biodiesel secara katalitik dapat diterapkan dengan penambahan reaktor *static mixer*.
2. Panjang *static mixer* yang dibutuhkan untuk menghasilkan nilai kadar metil ester tertinggi sesuai SNI yaitu perlakuan 4 kali dilewatkan SMR ($A3 = 8$ *static mixer*) baik pada kondisi transien ataupun kondisi *steady state*.
Nilai kadar metil ester yang dihasilkan pada kondisi transien berkisar 97.35 – 97.92 % w/w dan kondisi *steady state* berkisar 94.41 – 96.70 % w/w.

Saran

Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini dengan menambah panjang *static mixer* telah berhasil meningkatkan nilai kadar metil ester yang dihasilkan dan nilai *yield* biodiesel, sehingga untuk pengembangan selanjutnya perlu dilakukan perancangan kembali *static mixing reactor* menggunakan 8 reaktor *static mixer* dengan jumlah total elemen *static mixer* sebanyak 48 segmen dan menghitung laju aliran fluida yang sesuai untuk menghasilkan kadar metil ester sesuai SNI.

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. [31 Agustus 2012]
- Admix. 2012b. How the Admixer Static Mixer and Blender Works http://www.admix.com/admixer_how.htm. [31 Agustus 2012]
- 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.
- Appleby D.B. 2004. Glycerol. Di dalam: Knothe G, Gerpen J.V, Krahl J. The Biodiesel Handbook. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Aritonang ALP. 2013. Analisis Metode Response Surface Pada Produksi Biodiesel Secara Katalitik Dengan Static Mixing Reactor. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- [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. 1998. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 01-3555 - 1998 tentang Cara uji minyak dan lemak. BSN. Jakarta.

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2012. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 7182 : 2012 tentang Biodiesel. BSN. Jakarta.
- 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.
- Chempro. 2010. Palm Oil Properties. [terhubung berkala]. <http://www.chempro.in/palmoilproperties.htm> [10 November 2013].
- Coupland JN, McClements DJ. 1997. Physical Properties of Liquid Edible Oils. *J Am Oil Chemists' Soc* 77(12): 1559-1564.
- Darnoko D, Cheryan M. 2000a. Kinetics of Palm Oil Transesterification in Batch Reactor. *JAACS*. 77: 1263-1267.
- Darnoko D, Cheryan M. 2000b. Continuous Production of Palm Methyl Esters. *JAACS*. 77: 1269-1272.
- Dauqun EMA, Sani HA, Aminah, Abdullah, Kasim ZM. 2011. Fatty Acids Composition of Four Different Vegetable Oils (Red Palm olein, Palm Olein, Corn Oil and Coconut Oil) by Gas Chromatography. *2nd International Conference on Chemistry and Chemical Engineering*. IPCBEE. Vol.14. Singapore.
- Gerpe JV. 2005. Biodiesel Processing and Production. *Fuel Processing Technology*. 86: 1097 – 1107.
- Godfrey JC. 1992. Static Mixer. Di dalam: N. Harnbay, M.F Edwards, A.W Nienow, editor. *Mixing In The Process Industries (Second Edition)*; Inggris Butterworth-Heinemann Ltd. 225-249.
- Handoko TB. 2000. Deteksi Instalasi Pompa Sentrifugal Terhadap Gejala Kavitas. *Jurnal Teknologi Industri*. IV: 15 – 22.
- Joelianingsih. 2008. Biodiesel Production from Palm Oil in a Bubble Column Reactor by Non-Catalytic Process. *Disertasi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Kandhai D, Vidal DJE, Hoekstra AG, Hoefsloot H, Iedema P, Sloot PMA. 1999. Lattice-Boltzmann And Finite Element Simulations of Fluid Flow In A SMRX Static Mixer Reactor. *Int. J. Numer. Meth. Fluid* 31: 1019-1033.
- Kenics. 2007. Kenics Mixing Technology, Chemeneer, Inc, Dayton, OH. <http://www.kenics.com>[31 Agustus 2012].
- Krisnangkura K, Sansard C, Aryasuk K, Lilitchan S, Kittiratanapiboon K. 2010. An Empirical Approach for Predicting Kinematic Viscosities of Biodiesel Blends. *Fuels*. 89 : 2775 – 2780.
- Leblebici ME. 2011. Comparative Study of Net mixer and T-Jets Reactors Based On Pressure Dynamics. [Tesis]. Departamento De Engenharia Quimica. Universidade Do Porto.
- Lihertinah, Abdullah M, Khairurrijal. 2009. Sintesis Nanokatalis CuO/ZnO/Al₂O₃ untuk Mengubah Metanol Menjadi Hidrogen untuk Bahan Bakar Kendaraan *Fuel Cell*. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. ISSN 1979 – 0880.
- 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.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Marchetti JM, Miguel VU, Errazu AF. 2007. Possible Methods for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11 : 1300 – 1311.
- McCabe WL, Smith JC, 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.
- Noritake. 2010. Simple and High Performance (Static Mixer General Catalog). <http://www.noritake.co.jp/eng/products/egg/mixing> [21 Juni 2014].
- 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.
- Prihandana R, Hendroko R, Nuramin M. 2006. Menghasilkan Biodiesel Murah, Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM. PT. Agromedia Pustaka, Depok.
- Reyes JF, Malverde PE, Melin PS, De Bruijn JP. 2010. *Fuel*. 89: 1093 – 3098.
- Sahirman. 2009. Perancangan Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L). *Disertasi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Saragih J. 2011. Pemanfaatan Serbuk Sabut Kelapa Sebagai Pengisi Gypsum pada Pembuatan Lembaran Plafon dengan Bahan Pengikat Poliuretan. *Tesis*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- 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.
- Srivastava A, Prasad R. 2000. Triglycerides based diesel fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 4 : 111-133.
- Streeter VL, Wylie BE, Prijono A. 1996. *Mekanika Fluida*. Erlangga. Jakarta
- 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.
- Van Wageningen WFC. 2005. Design of A Static Mixer Reactor for Copper Recovery From Waste Streams [proefschrift]. Rotterdam(NE): Universitas Teknik Delft.
- 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. *JAOCs*. 76 : 517 – 521.

Lampiran 1 Syarat mutu biodiesel

| No | Parameter | Satuan, min/maks | Persyaratan |
|----|---|---|-------------|
| 1 | Massa jenis pada 40 °C | Kg/m ³ | 850 – 890 |
| 2 | Viskositas kinematik pada 40 °C | mm ² /s (cSt) | 2.3 – 6.0 |
| 3 | Angka setana | Min | 51 |
| 4 | Titik nyala | °C, min | 100 |
| 5 | Titik kabut | °C, maks | 18 |
| 6 | Korosi tembaga (3 jam pada 50 °C) | | nomor 1 |
| 7 | Residu karbon | | |
| | -dalam contoh asli | % massa, maks | 0.05 |
| | - dalam 10 % ampas distilasi | | 0.3 |
| 8 | Air dan sendimen | % vol, maks | 0.05 |
| 9 | Temperatur distilasi 90 % | °C, maks | 360 |
| 10 | Abu tersulfatkan | % massa, maks | 0.02 |
| 11 | Belerang | mg/kg, maks | 100 |
| 12 | Fosfor | mg/kg, maks | 10 |
| 13 | Angka asam | mg KOH/g, maks | 0.6 |
| 14 | Gliserol bebas | % massa, maks | 0.02 |
| 15 | Gliserin total | % massa, maks | 0.24 |
| 16 | Kadar ester metil | % massa, min | 96.5 |
| 17 | Angka iodium | % massa (g – I ₂ /100 g), maks | 115 |
| 18 | Kestabilan oksidasi | | |
| | Periode induksi metode rancimat atau | menit | 360 |
| | periode induksi metode petro oksidasi | | 27 |

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2012)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 2 Komposisi asam lemak minyak *palm olein*

| Asam Lemak | Kode/sandi | Komposisi (% w/w) |
|------------------|------------|-------------------|
| Asam kaprilat | C8:0 | 0.061 |
| Asam laurat | C12:0 | 0.230 |
| Asam miristat | C14:0 | 0.849 |
| Asam palmitat | C16:0 | 36.768 |
| Asam oleat | C18:1 | 49.482 |
| Asam linoleat | C18:2 | 11.745 |
| Asam linolenat | C18:3 | 0.539 |
| Asam arachidic | C20:0 | 0.161 |
| Asam beherat | C22:0 | 0.061 |
| Asam tricosanoat | C23:0 | 0.031 |
| Asam lignocerat | C24:0 | 0.066 |

Sumber: Dauqan *et al* (2011)

Lampiran 3 Perhitungan analisis desain *static mixing reactor*

Perhitungan sifat fisik dan karakteristik termal bahan

| Sifat fisik bahan (Suhu 30 °C) | Trigliserida (TG) *a | Metanol (MeOH)*b | Satuan |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|
| Densitas (ρ) | 885 | 779.10 | kg/m ³ |
| Dynamic Viscosity (μ) | 0.03500 | 5.090 x 10 ⁻⁴ | kg/m s |
| Viskositas (ϑ) | 0.0000396 | 6.53 x 10 ⁻⁷ | m ² /s |
| Specific Heat (cp) | 1.875 | 2.55 | kJ/kg C |
| Prandtl Number | 0.632 | 6.62 | |
| Thermal Conductivity (k) | 0.1717 | 0.1980 | W/m C |

Sumber: *a. Panggabean (2011); b. Cengel (2003)

• Perhitungan fraksi mol reaktan

- Fraksi mol minyak (mf1) = $\frac{1}{7} = 0.14$
- Fraksi mol metanol (mf2) = $\frac{6}{7} = 0.86$

Perhitungan densitas campuran (ρ_{campuran})

$$\begin{aligned} \rho_{campuran} &= mf_1 \cdot \rho_1 + mf_2 \cdot \rho_2 \\ &= 0.14 \times (885) + 0.86 \times (779.10) \\ &= 794.58 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan viskositas campuran (ϑ_{campuran})

$$\begin{aligned} \mu_{campuran} &= 9.315 \times 10^{-4} \text{ kg / m s} \\ \vartheta_{campuran} &= \frac{\mu_{campuran}}{\rho_{campuran}} \\ &= \frac{9.315 \times 10^{-4}}{794.58} \\ &= 1.17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Perhitungan panas spesifik campuran ($c_{p\text{campuran}}$)
 - $c_{p\text{campuran}} = m f_1 \cdot c_{p1} + m f_2 \cdot c_{p2}$
 $= 0.14 \times (1.875) + 0.86 \times (2.55)$
 $= 2.45 \text{ kJ/kg C}$
- Perhitungan Prandtl number campuran (Pr_{campuran})
 - $Pr_{\text{campuran}} = m f_1 \cdot Pr_1 + m f_2 \cdot Pr_2$
 $= 0.14 \times (0.632) + 0.86 \times (6.62)$
 $= 5.76$
- Perhitungan konduktivitas termal campuran (k_{campuran})
 - $K_{\text{campuran}} = m f_1 \cdot k_1 + m f_2 \cdot k_2$
 $= 0.14 \times (0.172) + 0.86 \times (0.198)$
 $= 0.194 \text{ W/m C}$
- Perhitungan debit keluaran fluida (Q_{out})
 - $Q_{\text{out}} = \frac{V}{t}$
 $Q_{\text{out}} = \frac{1000 \text{ ml}}{14 \text{ s}}$
 $= 71.42 \text{ ml/s}$
 $= 7.14 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- *Head loss total pompa* (H_t)
 - $= h_l + h_{\text{statis}} + h_{kl}$
 $= 35.58 + 0.53 + 0.016$
 $= 36.13 \text{ m}$
- Perhitungan nilai koreksi terhadap *head loss* yang tersedia pada pompa (H_0)
 - Head* pompa yang tersedia (H_w) = 38 m
 - Viskositas bahan yang akan dipompakan = 1.17 Cst
 - Koefisien *head* reduksi (C_H) = 1.03
 - $H_0 = H_w \times C_H$
 $= 38 \times 1.03$
 $= 39.14 \text{ m}$
- Perhitungan *pressure drop* pada *static mixer* (ΔP_{sm})
 - $\Delta P_{\text{sm}} = K_T \Delta P$
 - $\Delta P = 4f \frac{L V^2 \rho}{D 2 g}$
 - $K_T = 0.5$ (Paul *et al*, 2003)
 - $\Delta P = 4 (0.035) \frac{(0.546 \text{ m})(0.061^2) (794.58)}{(0.0385)^2 (9.81)}$
 $= 0.30 \text{ bar atau } 4.38 \text{ psi}$
 - $\Delta P_{\text{sm}} = 0.30 \text{ bar} \times 0.5$
 $= 0.15 \text{ bar atau } 2.19 \text{ psi}$
- Perhitungan daya fluida (P_{fluida})
 - $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$
 - $Q = A v$
 - $P_f = \rho g Q H_t$
 $= (794.58) (9.81) (2.99) (0.00012) (36.13)$
 $= 103.92 \text{ Watt}$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Perhitungan daya poros pompa (P_{pompa})
 - Efisiensi pompa = 0.7 (Sularso dan Tahara, 2000)
 - Daya poros pompa = $\frac{\text{Daya fluida}}{\text{efisiensi pompa}}$
 - = $\frac{103.92}{0.7}$
 - = 148.46 Watt
- Perhitungan kebutuhan daya heater
 - Suhu bahan masuk (T_{in}) = 30 °C
 - Suhu bahan keluar (T_{out}) = 65 °C
 - ΔT = 35 °C
 - a) Perhitungan kebutuhan daya pada pemanasan minyak (TG)
 - Massa minyak ($m_{trigliserida}$) = $\rho_{trigliserida} \cdot V_{trigliserida}$
 - = (885) . (0.002392)
 - = 2.11692 kg
 - Waktu pemanasan = 300 s
 - Q = $m_{trigliserida} C_p \Delta T$
 - = (2.12) (1.875) (35)
 - = 138.92 kJ
 - = 463.08 J/s
 - = 463.08 Watt
 - b) Perhitungan kebutuhan daya pada pemanasan metanol (MeOH)
 - Massa metanol ($m_{Metanol}$) = $\rho_{metanol} \cdot V_{metanol}$
 - = (779.10) . (0.000608)
 - = 0.473 kg
 - Waktu pemanasan = 300 s
 - Q = $m_{metanol} C_p \Delta T$
 - = (0.473) (2.55) (35)
 - = 42.27 kJ
 - = 140.92 J/s
 - = 140.92 Watt
 - c) Perhitungan kebutuhan daya pada pemanasan campuran
 - Massa campuran (m_{camp}) = $\rho_{camp} \cdot V_{camp}$
 - = (794.58) . (0.003)
 - = 2.38 kg
 - Waktu pemanasan = 300 s
 - Q = $m_{camp} C_p \Delta T$
 - = (2.38) (2.45) (35)
 - = 204.61 kJ
 - = 682.04 J/s
 - = **682.04 Watt** (digunakan konsumsi daya terbesar)

Lampiran 4 Hasil analisis laboratorium

- **Kondisi transien**

| Perlakuan | Angka penyabunan (mg KOH/g) | Angka asam (mg KOH/g) | Gliserol total (%) |
|-----------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Transien | 201 | 0.160 | 1.44 |
| A0 | 201 | 0.295 | 1.10 |
| A1 | 201 | 0.265 | 1.01 |
| A2 | 201 | 0.270 | 0.90 |
| A3 | 202 | 0.310 | 0.85 |

- **Kondisi steady state**

| Perlakuan | Angka penyabunan (mg KOH/g) | Angka asam (mg KOH/g) | Gliserol total (%) |
|-----------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| A0 | 201 | 0.240 | 3.41 |
| A1 | 201 | 0.235 | 2.41 |
| A2 | 201 | 0.180 | 1.76 |
| A3 | 202 | 0.170 | 1.42 |

Lampiran 5 Perhitungan nilai kadar metil ester

$$\text{Kadar metil ester (\% w/w)} = \frac{100 (As - Aa - 4.57G_{total})}{As}$$

- **Kondisi transien**

- a) Kadar metil ester (Transien) $= \frac{100 (201 - 0.160 - 4.57(1.44))}{201} = 96.65 \% \text{ w/w}$
- b) Kadar metil ester (A0) $= \frac{100 (201 - 0.295 - 4.57(1.10))}{201} = 97.35 \% \text{ w/w}$
- c) Kadar metil ester (A1) $= \frac{100 (201 - 0.265 - 4.57(1.01))}{201} = 97.58 \% \text{ w/w}$
- d) Kadar metil ester (A2) $= \frac{100 (201 - 0.270 - 4.57(0.90))}{201} = 97.82 \% \text{ w/w}$
- e) Kadar metil ester (A3) $= \frac{100 (202 - 0.310 - 4.57(0.85))}{202} = 97.92 \% \text{ w/w}$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- **Kondisi steady state**
- a) Kadar metil ester (A0) $= \frac{100 (201 - 0.240 - 4.57(3.41))}{201}$
 $= 94.41 \%$ w/w
- b) Kadar metil ester (A1) $= \frac{100 (201 - 0.235 - 4.57(2.41))}{201}$
 $= 94.72 \%$ w/w
- c) Kadar metil ester (A2) $= \frac{100 (201 - 0.180 - 4.57(1.76))}{201}$
 $= 95.91 \%$ w/w
- Kadar metil ester (A3) $= \frac{100 (202 - 0.170 - 4.57(1.42))}{202}$
 $= 96.70 \%$ w/w

lampiran 6 Perhitungan nilai *yield* biodiesel

$$Yield = \frac{\text{massa methyl ester}}{\text{Massa awal minyak}} \times 100\%$$

Kondisi transien

- a) *Yield* biodiesel perlakuan transien

Data yang diketahui:

- Suhu = 30 – 65 °C
- Waktu = 21 menit
- Katalis KOH = 0.5%

Perhitungan

- Mr Minyak (TG) = 858 g/mol

- Massa minyak = 2143 g
 $= \frac{2143 \text{ g}}{21 \text{ menit}}$
 $= 102.05 \text{ g/menit}$

- Mol minyak (gmol/menit) = $\frac{\text{Massa minyak (g)}}{\text{Mr minyak } (\frac{\text{g}}{\text{gmol}})}$
 $= \frac{2143}{858}$
 $= \frac{21}{21}$
 $= 0.12 \text{ g mol/menit}$

- Kadar ME dalam produk = 96.65 % w/w
 $= 0.9665$

- Produksi metil ester (gmol/menit)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Metil ester dalam produk (g/menit)

$$= \text{kadar ME dalam produk} \times \text{massa ME}$$

$$= (0.9735) \cdot (93.50)$$

$$= 91.02 \text{ g/menit}$$
- *Yield*

$$= \frac{91.02}{93.17} \times 100\%$$

$$= 97.69 \% \text{ w/w}$$

c) *Yield* biodiesel 2 kali dilewatkan SMR (A1 = 4 *static mixer*)

Data yang diketahui:

- Suhu = 65 °C
- Waktu = 25.5 menit
- Katalis KOH = 0.5%

Perhitungan

- Mr Minyak (TG) = 858 g/gmol

- Massa minyak

$$= 2143 \text{ g}$$

$$= \frac{2143 \text{ g}}{25.5 \text{ menit}}$$

$$= 84.04 \text{ g/menit}$$

- Mol minyak (gmol/menit) = $\frac{\text{Massa minyak (g)}}{\text{Mr minyak } (\frac{\text{g}}{\text{gmol}})}$

$$= \frac{2143}{858}$$

$$= \frac{2.5}{25.5} \text{ g mol/menit}$$

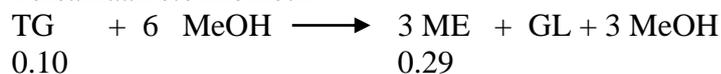
$$= 0.10 \text{ g mol/menit}$$

- Kadar ME dalam produk = 97.58 % w/w

$$= 0.9758$$

- Produksi metil ester (gmol/menit)

Persamaan stoikiometri



- Massa ME = 0.29 gmol/menit . 287 g/gmol

$$= 84.33 \text{ g/menit}$$
- Metil ester dalam produk (g/menit)

$$= \text{kadar ME dalam produk} \times \text{massa ME}$$

$$= (0.9758) \cdot (84.33)$$

$$= 82.29 \text{ g/menit}$$

- $Yield = \frac{82.29}{84.04} \times 100\%$
 $= 97.69 \% \text{ w/w}$

d) *Yield* biodiesel 3 kali dilewatkan SMR (A2 = 6 static mixer)

Data yang diketahui:

- Suhu = 65 °C
- Waktu = 27 menit
- Katalis KOH = 0.5%

Perhitungan

- Mr Minyak (TG) = 858 g/gmol

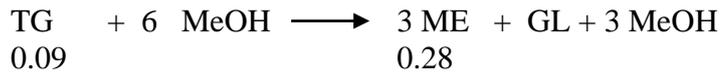
- Massa minyak = 2143 g
 $= \frac{2143 \text{ g}}{27 \text{ menit}}$
 $= 79.37 \text{ g/menit}$

- Mol minyak (gmol/menit) = $\frac{\text{Massa minyak (g)}}{\text{Mr minyak } (\frac{\text{g}}{\text{gmol}})}$
 $= \frac{2143}{858}$
 $= \frac{2.5}{27}$
 $= 0.09 \text{ g mol/menit}$

- Kadar ME dalam produk = 97.82 % w/w
 $= 0.9782$

- Produksi metil ester (gmol/menit)

Persamaan stoikiometri



- Massa ME = 0.28 gmol/menit . 287 g/gmol
 $= 79.65 \text{ g/menit}$

- Metil ester dalam produk (g/menit)
 $= \text{kadar ME dalam produk} \times \text{massa ME}$
 $= (0.9782) \cdot (79.65)$
 $= 77.91 \text{ g/menit}$

- $Yield = \frac{77.91}{79.37} \times 100\%$
 $= 98.16 \% \text{ w/w}$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- **Kondisi steady state**

a) *Yield* biodiesel 1 kali dilewatkan SMR ($A_0 = 2$ static mixer)

Data yang diketahui:

- Suhu = 65 °C
- Waktu = 0.9 menit
- Katalis KOH = 0.5%

Perhitungan

- Mr Minyak (TG) = 858 g/gmol

- Massa minyak = 2143 g

$$= \frac{2143 \text{ g}}{0.9 \text{ menit}}$$
 = 2521.18 g/menit

- Mol minyak (gmol/menit) = $\frac{\text{Massa minyak (g)}}{\text{Mr minyak } (\frac{\text{g}}{\text{gmol}})}$

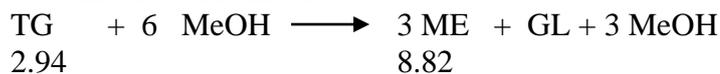
$$= \frac{2143}{858}$$

$$= \frac{2.94}{0.9}$$
 = 2.94 g mol/menit

- Kadar ME dalam produk = 94.41 % w/w
 = 0.9441

- Produksi metil ester (gmol/menit)

Persamaan stoikiometri



- Massa ME = 8.82 gmol/menit . 287 g/gmol
 = 2529.99 g/menit
- Metil ester dalam produk (g/menit)
 = kadar ME dalam produk x massa ME
 = (0.9441) . (2529.99)
 = 2388.57 g/menit
- *Yield* = $\frac{2388.57}{2521.18} \times 100\%$
 = 94.74 % w/w

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Perhitungan

$$\text{- Mr Minyak (TG)} = 858 \text{ g/gmol}$$

$$\begin{aligned} \text{- Massa minyak} &= 2143 \text{ g} \\ &= \frac{2143 \text{ g}}{2.9 \text{ menit}} \\ &= 747.56 \text{ g/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Mol minyak (gmol/menit)} &= \frac{\frac{\text{Massa minyak (g)}}{\text{Mr minyak (}\frac{\text{g}}{\text{gmol}}\text{)}}}{\text{waktu (menit)}} \\ &= \frac{\frac{2143}{858}}{2.9} \\ &= 0.87 \text{ g mol/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Kadar ME dalam produk} &= 95.91 \% \text{ w/w} \\ &= 0.9591 \end{aligned}$$

$$\text{- Produksi metil ester (gmol/menit)}$$

Persamaan stoikiometri



- Massa ME = 2.61 gmol/menit . 287 g/gmol
= 750.17 g/menit
- Metil ester dalam produk (g/menit)
= kadar ME dalam produk x massa ME
= (0.9591) . (750.17)
= 719.49 g/menit
- Yield = $\frac{719.49}{747.56} \times 100\%$
= 96.25 % w/w

d) Yield biodiesel 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 static mixer)

Data yang diketahui:

- Suhu = 65 °C
- Waktu = 3.8 menit
- Katalis KOH = 0.5%

Perhitungan

$$\text{- Mr Minyak (TG)} = 858 \text{ g/gmol}$$

$$\begin{aligned} \text{- Massa minyak} &= 2143 \text{ g} \\ &= \frac{2143 \text{ g}}{3.8 \text{ menit}} \\ &= 561.48 \text{ g/menit} \end{aligned}$$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

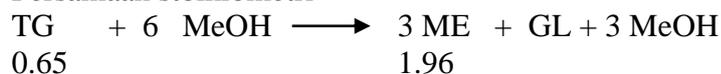
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

$$\begin{aligned}
 \text{- Mol minyak (gmol/menit)} &= \frac{\frac{\text{Massa minyak (g)}}{\text{Mr minyak } \left(\frac{\text{g}}{\text{gmol}}\right)}}{\text{waktu (menit)}} \\
 &= \frac{2143}{\frac{858}{3.8}} \\
 &= 0.65 \text{ g mol/menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Kadar ME dalam produk} &= 96.70 \% \text{ w/w} \\
 &= 0.9670
 \end{aligned}$$

- Produksi metil ester (gmol/menit)

Persamaan stoikiometri



- Massa ME = 1.96 gmol/menit . 287 g/gmol
= 563.45 g/menit
- Metil ester dalam produk (g/menit)
= kadar ME dalam produk x massa ME
= (0.9670) . (563.45)
= 544.85 g/menit
- *Yield* = $\frac{544.85}{561.48} \times 100\%$
= 97.04 % w/w

Lampiran 7 Prototipe *static mixing reactor*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

05/01/2014
Bogor Agricultural University

Lampiran 8 Produk hasil reaksi

Produk biodiesel hasil *running process*

Produk biodiesel setelah dipisahkan dengan gliserol

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 8 Produk hasil reaksi (lanjutan)



Proses pencampuran biodiesel dengan akuades

Proses pencucian biodiesel perlakuan 2 *static mixer* dan 4 *static mixer*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 8 Produk hasil reaksi (lanjutan)



Proses pencucian biodiesel perlakuan 6 *static mixer* dan 8 *static mixer*



Produk biodiesel hasil proses pencucian

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 8 Produk hasil reaksi (lanjutan)

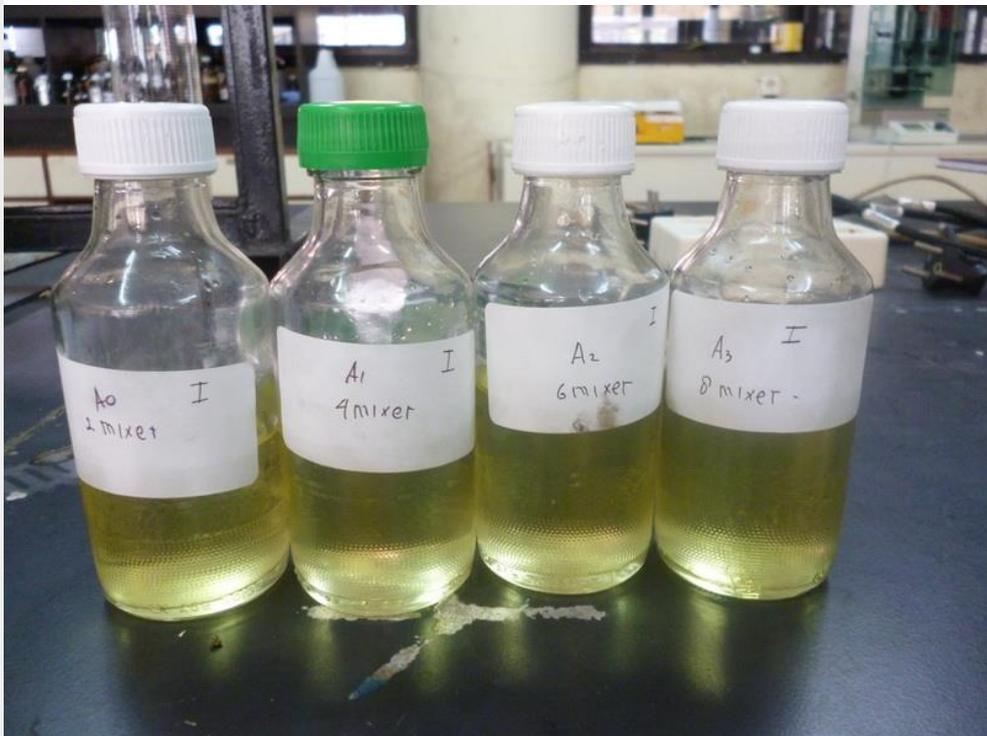
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)



Proses evaporasi biodiesel



Produk biodiesel hasil proses evaporasi

Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

| | | | | | |
|----|----------------------|--------|---------------|--------------|------------|
| 22 | Roda | 7 buah | | | |
| 21 | Penutup Penampung 1 | 1 buah | 3/4" x 70 mm | | |
| 20 | Pressure G-age | 1 buah | | | |
| 19 | Kunci Reaktor Tengah | 1 buah | NDT M50 x 10 | | |
| 18 | Block Shock | 2 buah | 3/4" ke 1.5" | Besi Cor | |
| 17 | Sambungan | 1 buah | 3/4" x 50 mm | SS304 | |
| 16 | Pipa Inlet | 1 buah | 3/4" x 500 mm | SS304 | |
| 15 | Elbow | 2 buah | 3/4" | Besi Cor | |
| 14 | Outlet Keran | 2 buah | | Kuningan | |
| 13 | Kaki Penyangga | 3 buah | P = 552 mm | Siku 20x20x2 | |
| 12 | Keran | 5 buah | 3/4" | Kuningan | |
| 11 | Heater | 1 buah | | | Lh. Detail |
| 10 | Static Mixer | | | | Lh. Detail |
| 9 | Kaki Jalur 1 | | | | Lh. Detail |
| 8 | Kaki Jalur 2 | | | | Lh. Detail |
| 7 | Tanki Penampung 2 | | | | Lh. Detail |
| 6 | Reaktor | | | | Lh. Detail |
| 5 | Kaki Penyangga | | | | Lh. Detail |
| 4 | Tanki Luar Penampung | | | | Lh. Detail |
| 3 | Tanki Penampung 1 | | | | Lh. Detail |
| 2 | Tanki Pengumpulan | | | | Lh. Detail |
| 1 | Tutup Pengumpulan | | | | Lh. Detail |
| No | Nama Bagian | Jumlah | Ukuran | Bahan | Keterangan |

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

NAMA MESIN : STATIC MIXER COLUMN REACTOR

| Disamping | CHS | NAMA BAGIAN | NAMA BAGIAN |
|------------|-----|-------------|------------------|
| Digambar | CHS | BOGOR | GENERAL ASSEMBLY |
| Diperiksa | AHR | BOGOR | AGRIKULTURAL |
| Ditentukan | AHR | BOGOR | UNIVERSITY |

SKALA: 1:8

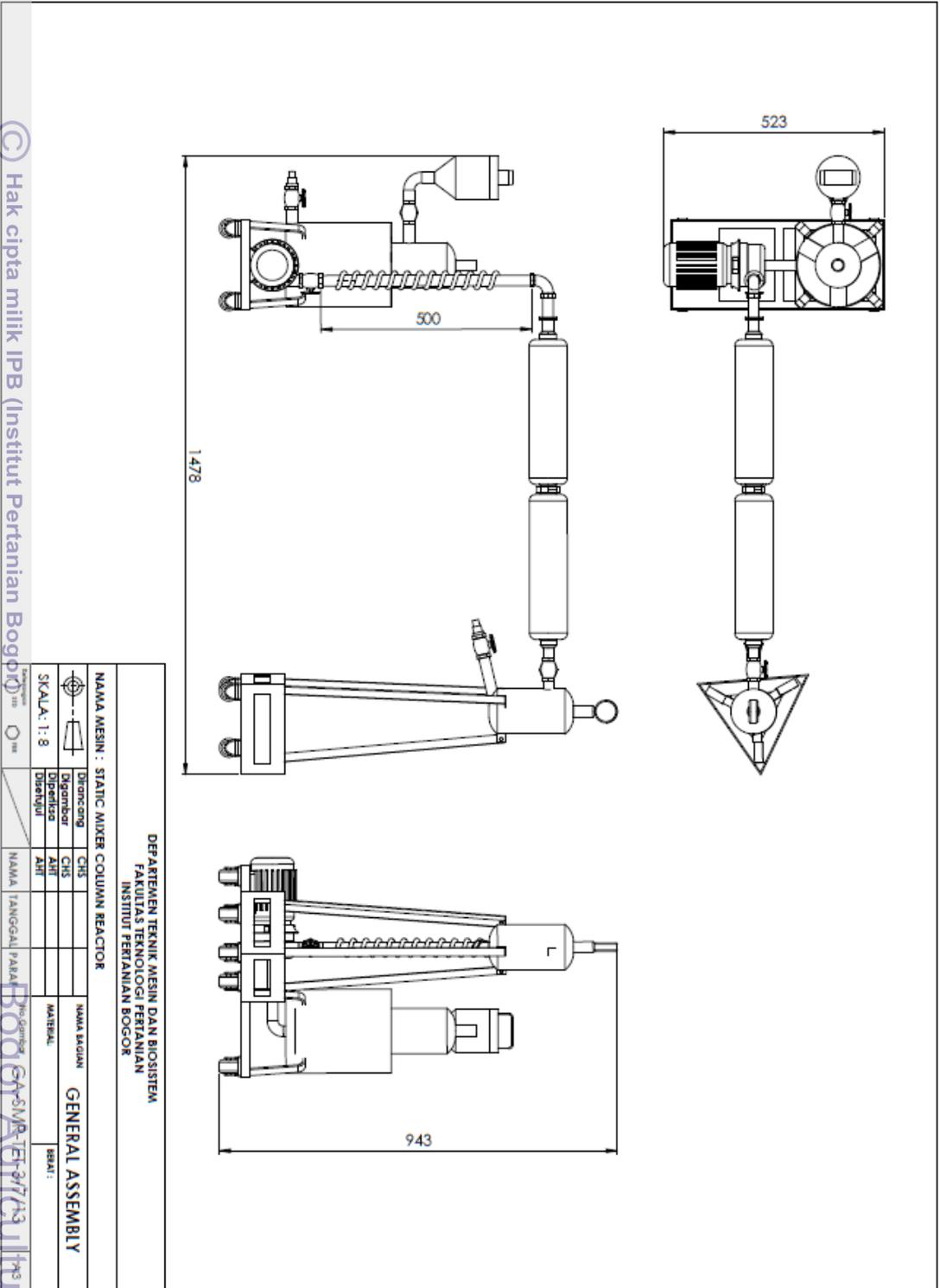
0 mm 0 mm

NAMA: TANGGAL: PARAU: No. Gambar: GA2-SMR-TE-3/7/13 AS

Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY

Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor) Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)

| | | | | | |
|----|-------------|--------|--------------|-------|------------|
| 2 | Regangan | 1 buah | 130 x 33 x 2 | SS304 | |
| 1 | Tutup Utama | 1 buah | Ø104 x t2 | SS304 | |
| No | Nama Bagian | Jumlah | Ukuran | Bahan | Keterangan |

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

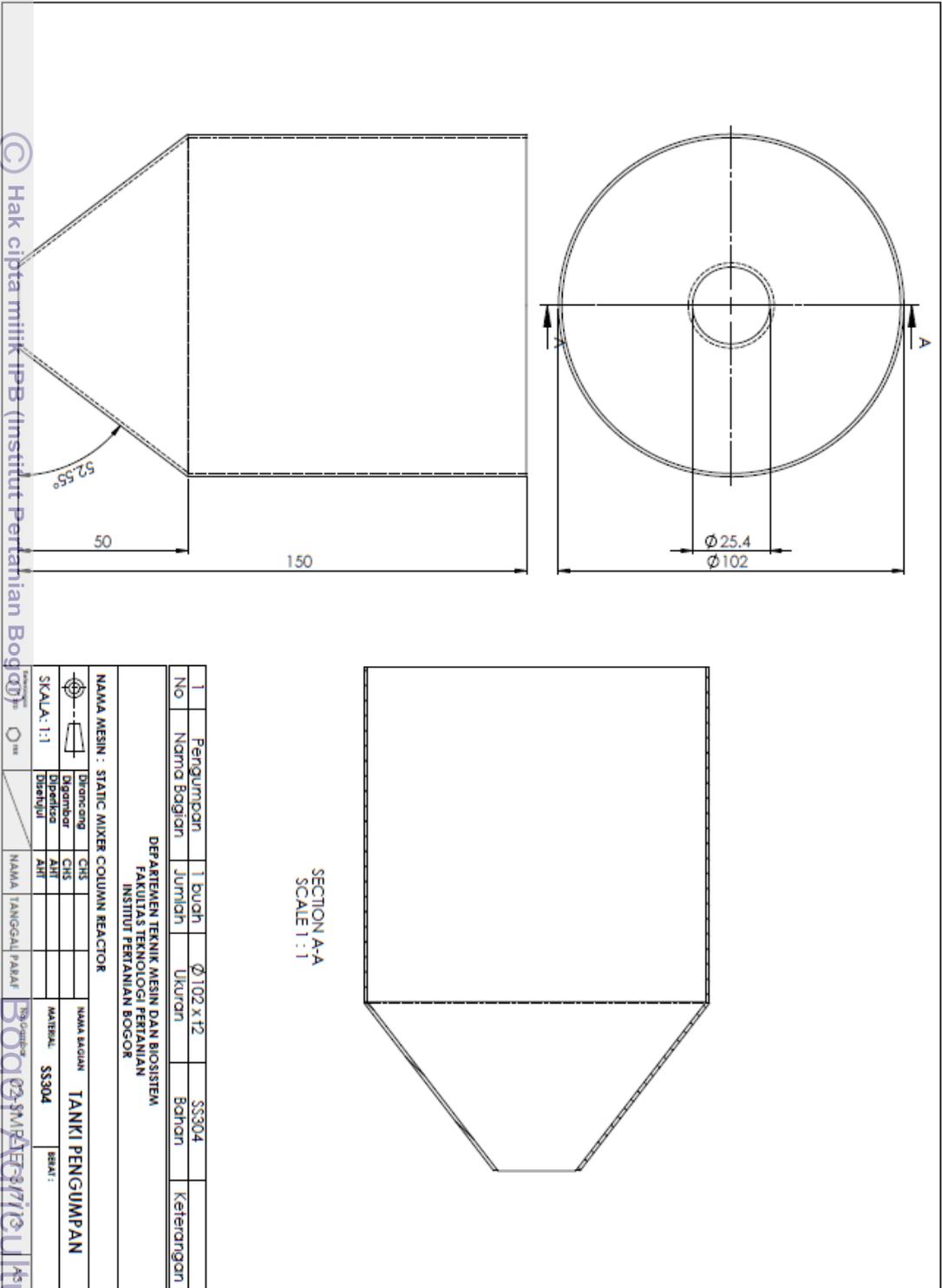
NAMA MESIN : STATIC MIXER COLUMN REACTOR

| | | | | |
|-----------------------|------------|---------|--------------------------|---------------------------------------|
| | Ditancang | CHS | | Nama Bagian Tutup Regangan |
| | Digambar | CHS | | |
| <input type="radio"/> | Diperiksa | AHT | Material SS304 | No. Gambar 01-SMR-TE-3/7/13 |
| | Dikerjakan | AHT | | |
| <input type="radio"/> | NAMA | TANGGAL | PABAI | A3 |

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)



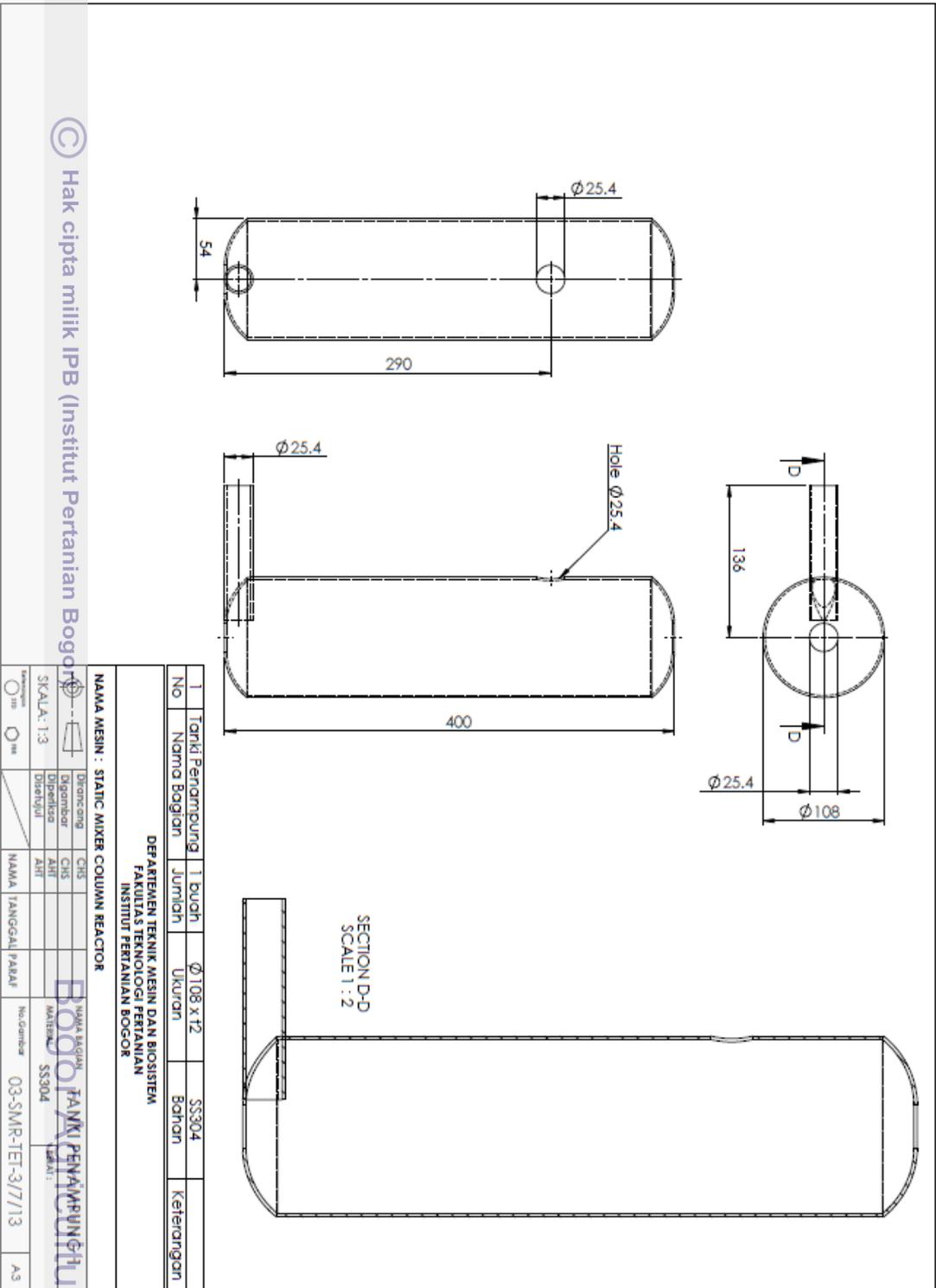
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)

| | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|------------|
| 1 | Tanki Luar | 1 buah | Ø200 x 12 | ST41 | |
| No | Nama Bagian | Jumlah | Ukuran | Bahan | Keterangan |
| DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN INSTITUT PERTANIAN BOGOR | | | | | |
| NAMA MESIN : STATIC MIXER COLUMN REACTOR | | | | | |
| NAMA BAHAN TANKI LUAR PENAMPUNG 1 | | | | | |
| BANGUNAN DIBANGUN ANTI BERBAHU | | NAMA TANGGAL TAAH | | No. Denda 04-SMR-1E-317413 | |
| SKALA: 1:3 | | MATERI: ST41 | | BEKAS: | |

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Lampiran 9 Gambar Teknik (lanjutan)

Pitch = 30 mm
 Jumlah Ujir = 13
 Tinggi Total = 390
 Material = Tembaga
 Diameter Kawat = 5 mm

| | | | | | | |
|---|-------------|--|---|---|------------|---|
| 1 | Heater | 1 buah | - | - | - | - |
| No | Nama Bagian | Jumlah | Ukuran | Bahan | Keterangan | |
| NAMA MESIN : STATIC MIXER COLUMN REACTOR DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN INSTITUT PERTANIAN BOGOR | | | | | | |
| NAMA MESIN : STATIC MIXER COLUMN REACTOR NAMA BAGIAN : HEATER No. Gambar : 11-SMR-ET-3/7/13 | | Disamping Diberikan Diperiksa Disetujui CHS AHT NAMA : TANGGAL PARAF | NAMA BAGIAN : HEATER No. Gambar : 11-SMR-ET-3/7/13 | NAMA BAGIAN : HEATER No. Gambar : 11-SMR-ET-3/7/13 | | |

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 27 Desember 1988 sebagai anak tunggal dari pasangan Bapak Theo Soolany, SE, MA dan Ibu Yatin, SE, MM. Penulis telah menyelesaikan pendidikan program sarjana (S1) pada tahun 2010 di Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Pada tahun 2011 penulis diterima di Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Penulis juga aktif sebagai pengurus Forum Mahasiswa Pascasarjana Keteknikan Pertanian (Formateta) IPB periode kepemimpinan 2011/2012.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumarkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.