

UNIVERSITAS INDONESIA

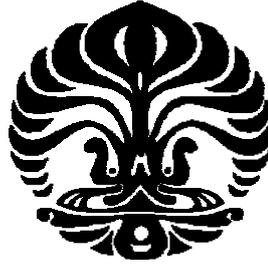
**EVALUASI DAN ANALISIS ALAT PEMISAH KONTINYU
BIODIESEL-GLISEROL**

SKRIPSI

ELIANA AYU KARINDA

0706269754

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI DAN ANALISIS ALAT PEMISAH KONTINYU
BIODIESEL-GLISEROL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ELIANA AYU KARINDA

0706269754

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Eliana Ayu Karinda
NPM : 0706269754
Tanda Tangan :
Tanggal : 24 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Eliana Ayu Karinda
NPM : 0706269754
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Evaluasi dan Analisis Alat Pemisah Kontinyu
Biodiesel-Gliserol

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng ()
NIP. 19610501 198609 1 001
Pembimbing II : Ir. Bambang Heru Susanto, MT ()
NIP. 19700527 199702 1 001
Penguji : Ir. Setiadi, M.Eng ()
NIP. 19600819 198703 1 001
Penguji : Dr. Eny Kusriani, S.Si ()
NIP. 19761023 201012 2 002
Penguji : Eva Fathul Karamah, ST, MT ()
NIP. 19710310 199702 2 001

Ditetapkan di : Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Tanggal : 24 Juni 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng selaku pembimbing pertama dan Ir. Bambang Heru Susanto, MT selaku pembimbing kedua yang mau bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu menghadapi setiap kesulitan dalam proses penyelesaian skripsi ini dan menjadi teman diskusi yang inspiratif bagi saya. Terima kasih atas segala motivasi dan dukungan yang diberikan.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dalam segala hal. Mama dan papa atas doa, kasih sayang, dan pengertiannya, serta Fidyah Mulia Sari dan Netty Rianti Mulia atas segala hiburannya.
3. Gregory Foranda Saragih atas segala dukungan, motivasi, dan warna warni yang diberikan dalam kehidupan saya.
4. Indriani Fajrin, sahabat sekaligus rekan penelitian yang tidak pernah bosan memberikan kasih sayang dan melakukan hal-hal di luar kewajaran.
5. Alien Olifitria Ningrum, Dhinda Prinita Sari, Aditya Zulfa, Isdiana Karina, Riezqa Andika, Muharza, Ikmalul Huda sahabat terbaik yang pernah saya miliki selama kuliah.
6. Sahabat-sahabat Eygraidosh Pesona Vallnotros yang tetap memberikan semangat dan dukungan di manapun mereka berada.
7. Maria Linawati, teman satu penelitian yang membuat penelitian ini menjadi begitu menyenangkan dan berkesan.

8. Teman-teman Teknik Kimia 2007 yang membuat empat tahun ini terasa begitu cepat. Rasanya tak ingin berpisah dengan kalian, Tekim 07 kita bersama.
9. Mang Ijal dan Kang Jajat yang sudah seperti keluarga sendiri dan tidak pernah bosan berbagi cerita dan keluh kesah bersama Eli, Indri, Lina. Terima kasih juga untuk ruang tidur siang yang selalu menjadi tempat favorit kami bertiga.
10. Segenap dosen Departemen Teknik Kimia FTUI atas segala ilmu dan rasa kekeluargaan yang diberikan.
11. Para karyawan Departemen Teknik Kimia FTUI yang dengan ramah mau membantu saya dan menjadi keluarga selama kuliah.
12. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif dan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta peningkatan daya saing bangsa.

Depok, 24 Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Eliana Ayu Karinda
NPM : 0706269754
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

EVALUASI DAN ANALISIS ALAT PEMISAH KONTINYU
BIODIESEL-GLISEROL

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

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 24 Juni 2011

Yang menyatakan

(Eliana Ayu Karinda)

ABSTRAK

Nama : Eliana Ayu Karinda
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Evaluasi dan Analisis Alat Pemisah Kontinyu Biodiesel-Gliserol

Produksi biodiesel yang meningkat membutuhkan teknologi yang tepat dan efisien. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan proses produksi biodiesel dengan sistem kontinyu. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan menganalisis alat separasi biodiesel-gliserol dengan sistem kontinyu. Separator berbentuk tangki pengendap dengan *baffle* yang memisahkan beberapa kompartemen. Analisis dilakukan untuk mengetahui hubungan antara laju alir dan ketinggian *baffle* terhadap proses separasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemisahan terjadi dengan sempurna apabila biodiesel dan gliserol membentuk dua lapisan dalam kompartemen dengan masing-masing ketinggian yang dapat diamati. Biodiesel dan gliserol membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memisah sehingga separator membutuhkan 3 *baffle* dengan ketinggian berbeda.

Kata kunci:

Baffle, biodiesel, gliserol, kontinyu, separator

ABSTRACT

Name : Eliana Ayu Karinda
Study Program: Chemical Engineering
Judul : Evaluation and Analysis of Biodiesel-Glycerol Continuous Separator

The increase of biodiesel production requires appropriate and efficient technology. Several studies have been conducted to develop biodiesel production process with continuous systems. This research was conducted to evaluate and analyze biodiesel-glycerol continuous separator. Shaped separator settling tank with baffle that separates several compartments. The analysis was performed to determine the relationship between flowrate and baffle height of the separation process. The results show that separation occurs with perfect when biodiesel and glycerol to form two layers in each compartment with a height that can be observed. Biodiesel and glycerol requires a long time to separate so that the separator will need 3 baffles with different heights.

Key words:

Baffle, biodiesel, continuous, glycerol, separator

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Separator.....	8
2.2.1. Separator Minyak-Air API.....	8
2.2.2. Separator Gravitasi.....	10
2.2.3. <i>Skimmer</i>	11
2.2.4. <i>Inclined Pelate Separator</i>	12
2.2.5. <i>Flat Corrugated (Horizontal Sinusoidal) Pelate Separator</i>	12
2.3. Biodiesel.....	13
2.4. Proses Pembuatan Biodiesel.....	15
2.5. Gliserol	18
2.6. Hukum Stokes	20

BAB 3 METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Variabel Bebas dan Variabel Terikat	24
3.2. Alat dan Bahan	25
3.3. Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1. Preparasi Separator	26
3.3.2. Preparasi Biodiesel.....	26
3.3.3. Pengukuran Densitas dan Viskositas Bahan	26
3.3.4 Proses Separasi Campuran Biodiesel-Glisерol	27
3.4 Pelaksanaan Penelitian	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1. Analisis Desain Alat.....	28
4.2. Analisis Data dan Grafik	32
4.3. Analisis Ketinggian Biodiesel dan Gliserol secara Keseluruhan	44
4.4. Perbandingan Pemisahan Biodiesel-Glisерol dan Biodiesel-Air.....	48
BAB 5 PENUTUP	42
5.1. Kesimpulan.....	42
5.2. Saran.....	42
DAFTAR REFERENSI.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Proses Produksi Biodiesel	7
Gambar 2.2. API Separator	10
Gambar 2.3. Separator Gravitasi	11
Gambar 2.4. <i>Wheel Oil Skimmer</i>	12
Gambar 2.5. Skema Pelat Separator	13
Gambar 2.6. Reaksi Transesterifikasi	17
Gambar 2. 7. Diagram Alir Pembuatan Biodiesel dengan Reaksi Transesterifikasi	17
Gambar 2.8. Rumus Bangun Gliserol	19
Gambar 2.9. Gaya yang Bekerja Pada Saat Bola dengan Kecepatan Tetap	21
Gambar 3.1. Separator dan Peralatan Penunjang	23
Gambar 3.2. Dimensi Separator	24
Gambar 4.1. Dimensi Separator A dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 7 cm ; 6 cm ; 5 cm	28
Gambar 4.2. Dimensi Separator B dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 7 cm ; 6,5 cm ; 6 cm	29
Gambar 4.3. Dimensi Separator C dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 8 cm ; 7 cm ; 6 cm	29
Gambar 4.4. Separator dan Alat Penunjang	31
Gambar 4.5. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 1A	35
Gambar 4.6. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 2A	35
Gambar 4.7. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 3A	35
Gambar 4.8. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 4A	36
Gambar 4.9. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 1B	38
Gambar 4.10. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 2B	39
Gambar 4.11. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 3B	39
Gambar 4.12. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 4B	39
Gambar 4.13. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 1C	42
Gambar 4.14. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 2C	43
Gambar 4.15. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 3C	43

Gambar 4.16. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 4C	43
Gambar 4.17. Ketinggian Biodiesel pada Separator A dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 7 ; 6 ; 5 cm	44
Gambar 4.18. Ketinggian Gliserol pada Separator A dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 7 ; 6 ; 5 cm	45
Gambar 4.19. Ketinggian Biodiesel pada Separator B dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 7 ; 6,5 ; 6 cm	45
Gambar 4.20. Ketinggian Gliserol pada Separator B dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 7 ; 6,5 ; 6 cm	46
Gambar 4.21. Ketinggian Biodiesel pada Separator C dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 8 ; 7 ; 6 cm	47
Gambar 4.22. Ketinggian Gliserol pada Separator C dengan Ketinggian <i>Baffle</i> 8 ; 7 ; 6 cm	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sumber Minyak Nabati (Sumber: Jurnal Insinyur Mesin, 2011).....	15
Tabel 2.2. <i>Acceptable Value</i> dari ASTM <i>Standar for Biodiesel</i> dan Spesifikasi Solar Pertamina	18
Tabel 4.1. Data Laju Alir, Ketinggian Fluida, Suhu, dan Waktu Tinggal pada Variasi Ketinggian <i>Baffle</i> 7 cm : 6 cm : 5 cm	33
Tabel 4.2. Laju Alir, Ketinggian Fluida, Suhu, dan Waktu Tinggal pada Variasi Ketinggian <i>Baffle</i> 7 cm : 6,5 cm : 6 cm.....	37
Tabel 4.3. Laju Alir, Ketinggian Fluida, Suhu, dan Waktu Tinggal pada Variasi Ketinggian <i>Baffle</i> 8 cm : 7 cm : 6 cm.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Gambar Alat	53
--------------------------------	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Di era modern sekarang ini, energi memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan. Semua sisi kehidupan memerlukan energi sebagai penggerakannya, terutama energi listrik dan bahan bakar. Terlebih lagi sektor transportasi yang semakin lama semakin membutuhkan energi yang besar. Di Indonesia, peningkatan jumlah kendaraan pribadi yang tak terbendung tentunya tidak hanya menimbulkan masalah kemacetan tetapi juga masalah krisis bahan bakar. Hal ini dapat dilihat dari data yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) bahwa setiap tahunnya Indonesia mengalami defisit BBM sebanyak 24 juta kilo liter yang selama ini harus dipenuhi dengan melakukan impor BBM. Bahkan Kementerian ESDM memprediksi bahwa pada tahun 2012, Indonesia akan kekurangan pasokan BBM sebesar 430 ribu barrel tiap harinya. Tentunya masalah ini memerlukan penanganan yang serius dari berbagai pihak.

Defisit BBM ini akan bertambah parah jika tidak segera ditangani mengingat cadangan minyak Indonesia yang diprediksi akan habis dalam 25-40 tahun ke depan. Sampai saat ini, pemerintah telah melakukan beberapa usaha untuk mengatasi masalah ini, seperti melakukan impor BBM, pembuatan kebijakan-kebijakan yang dapat mengurangi konsumsi BBM masyarakat, pembangunan kilang-kilang baru, dan penggunaan *biofuel* sebagai pengganti BBM.

Melihat cadangan minyak bumi yang semakin menipis, peningkatan produksi *biofuel* atau bahan bakar nabati (BBN) dalam negeri harus dipercepat. Wilayah Indonesia yang sangat luas dengan keanekaragaman hayati yang sangat kaya menjadikan Indonesia sebagai negara yang memiliki potensi tinggi akan produksi BBN. Salah satu BBN yang saat ini marak dikembangkan adalah biodiesel. Melalui pemanfaatan teknologi bioenergi, Indonesia diharapkan memiliki kesempatan yang besar dalam penyediaan energi bersih, termasuk biodiesel. Sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia mempunyai peluang untuk menjadi salah satu penghasil biodiesel terbesar. Saat ini, kapasitas

terpasang biodiesel yang berasal dari kelapa sawit telah mencapai 3,9 juta kL/tahun (ESDM, 2011). Disebutkan dalam *blueprint* pengelolaan energi nasional 2005-2025 bahwa pemerintah telah menetapkan pemakaian biodiesel sebanyak 2% konsumsi solar pada tahun 2010, 3% pada 2015, dan 5% pada 2025. Selain itu, pemerintah juga menetapkan kebutuhan biodiesel mencapai 720.000 kL pada tahun 2010 dan akan ditingkatkan menjadi 1,5 juta kL pada 2015 dan 4,7 juta kL pada 2025.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak yang biasa digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel. Bahan bakar ini terbuat dari sumber yang dapat diperbaharui seperti minyak sayur atau lemak hewan. Bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel yang dihasilkan dari minyak bumi, biodiesel lebih ramah lingkungan karena dengan menggunakan biodiesel, maka emisi karbon monoksida, karbon dioksida, sulfur dioksida, hidrokarbon, benzena dan partikel-partikel lain yang memiliki dampak buruk bagi kesehatan (terutama pernapasan) dapat berkurang.

Penggunaan dan produksi biodiesel yang meningkat dengan cepat, terutama di Eropa, Amerika Serikat, dan Asia, tentunya membutuhkan suatu proses produksi biodiesel yang lebih efisien dibandingkan dengan yang sudah ada. Salah satu cara untuk membuat proses produksi lebih efisien adalah dengan mengoptimalkan kinerja peralatannya. Dalam proses produksi biodiesel, diperlukan suatu alat untuk memisahkan biodiesel dengan produk sampingnya (pemurnian biodiesel), yakni gliserol yang biasa dikenal dengan sebutan separator. Separator juga digunakan untuk proses pencucian biodiesel dengan menggunakan air. Banyak desain separator biodiesel yang ada saat ini diperuntukkan untuk proses yang dilangsungkan secara *batch*. Padahal bila separator biodiesel ini didesain untuk proses yang dilangsungkan secara kontinyu, tentunya hal ini dapat mengoptimalkan proses produksi.

Desain separator yang ada saat ini membutuhkan tangki yang besar dan waktu yang lama untuk proses pemisahannya. Tentunya desain tangki yang besar ini akan membutuhkan lahan yang besar pula. Hal ini akan menjadi permasalahan tersendiri bila membangun pabrik biodiesel. Untuk mengatasi hal ini telah banyak

dilakukan modifikasi terhadap separator. Salah satunya adalah desain separator dengan bentuk silinder vertikal untuk memaksimalkan kapasitas serta proses separasi (Lastella, 2005). Separator ini digunakan untuk proses produksi biodiesel secara kontinyu.

Produksi biodiesel secara kontinyu juga pernah dilakukan oleh Ames, 2007. Ames memasang *baffle* pada peralatannya sebagai pemisah ruang antara *mixing zone* dengan *separation zone* dan *glycerol accumulation zone*, sehingga fluida-fluida yang ada tidak saling bercampur. Dengan begitu, proses separasi dapat berlangsung optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh dari laju alir campuran biodiesel dengan gliserol terhadap proses pemisahan
2. Bagaimana pengaruh dari ketinggian *baffle* terhadap proses pemisahan
3. Bagaimana profil dari hubungan laju alir dan *baffle* terhadap proses separasi biodiesel-gliserol secara kontinyu

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan alat *settler* biodiesel yang dapat dioperasikan secara kontinyu
2. Mengetahui kinerja dari alat *settler* biodiesel kontinyu dalam proses pemisahan biodiesel dengan gliserol
3. Mendapatkan laju alir optimum untuk proses pemisahan biodiesel dengan gliserol
4. Mendapatkan ketinggian *baffle* optimum untuk proses pemisahan biodiesel dengan gliserol
5. Mendapatkan data yang akan digunakan untuk *scale up* kapasitas industri

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memperoleh alat *settler* biodiesel yang dapat dioperasikan secara kontinyu agar proses pemisahan campuran biodiesel dengan gliserol lebih efisien
2. Sebagai salah satu usaha mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi, dengan menggantikan kebutuhan minyak bumi dengan minyak nabati yang dapat diperbaharui

1.5. Batasan Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Proses pemisahan dilakukan pada reaktor *continuous* pada tekanan atmosferik dan fasa cair
2. Campuran yang diuji proses pemisahannya adalah biodiesel dengan gliserol

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan
Bab ini membahas pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan
2. Bab II Tinjauan Pustaka
Bab ini membahas dasar teori yang berkaitan dengan penelitian, mencakup bahasan tentang biodiesel serta proses pembuatannya, *settler* biodiesel, gliserol
3. Bab III Metode Penelitian
Bab ini membahas diagram alir penelitian, alat dan bahan penelitian, serta prosedur penelitian
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan
Bab ini membahas analisis alat dan bahan serta data hasil penelitian

5. Bab V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dapat diambil berdasarkan penelitian yang dilakukan terkait dengan tujuan dari penelitian ini

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Nasikin, dkk. (2010) telah melakukan penelitian untuk memproduksi biodiesel secara kontinyu. Proses produksi biodiesel pada penelitian ini dilakukan dengan reaksi transesterifikasi minyak sawit goreng (RBDPO) dan metanol dengan menggunakan katalis basa. Untuk mempercepat reaksi, digunakan ultrasonik pada tahap reaksi transesterifikasi.

Proses produksi biodiesel dengan menggunakan teknologi ultrasonik ini divariasikan pada laju alir metanol dan asam nitrat yang digunakan. Pada penelitian ini, rasio metanol divariasikan dari 3 (tiga) kali sampai dengan 6 (enam) kali kebutuhan secara stoikiometris. Pengaruh perubahan laju alir metanol adalah terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

Parameter kualitas pertama yang dipengaruhi oleh perubahan rasio metanol adalah warna campuran saat reaksi masih berjalan. Pada reaksi dengan metanol paling banyak, campuran yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan dan keruh, dan terlihat lapisan coklat di dasar reactor. Hal ini menunjukkan telah terbentuk metil ester dan gliserol. Perubahan warna yang terjadi sesuai dengan fenomena pada reaksi skala lab.

Pembentukan sabun sebagai reaksi samping terlihat pada saat proses pemisahan di seluruh kolom pemisah, di mana cenderung terbentuk lapisan biodiesel-sabun-air/gliserol. Semakin rendah laju alir metanol, terutama pada laju alir 1,2 mL/menit, maka akan terjadi penumpukan sabun terutama pada saat pemisahan biodiesel-air, sehingga mengganggu proses pemisahan dan mengurangi kualitas biodiesel. Pembentukan sabun ini diatasi dengan penambahan HNO_3 untuk menetralkan NaOH .

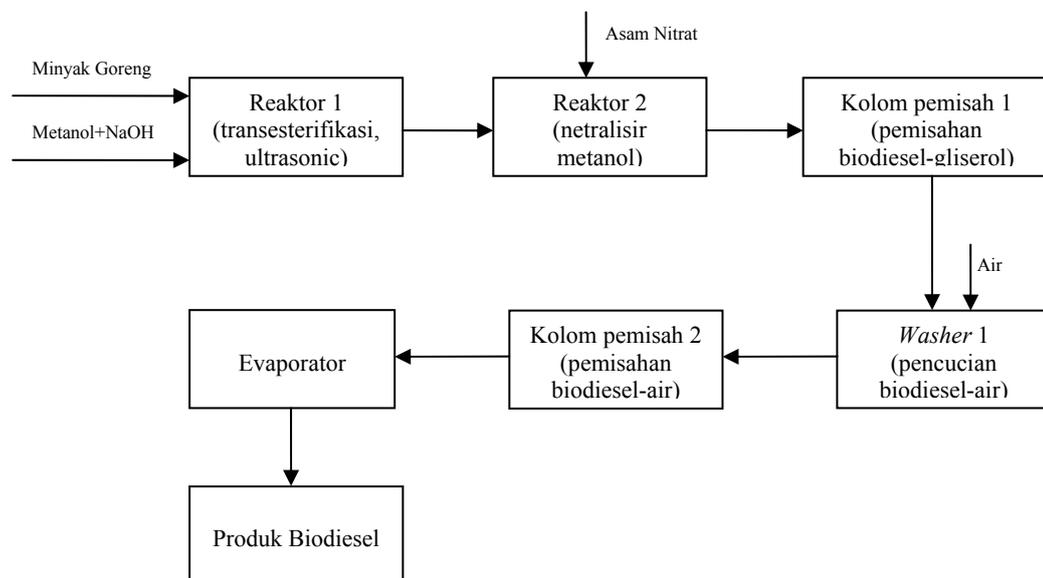
Viskositas biodiesel yang dihasilkan yang diuji pada suhu kamar yaitu sekitar 10 cSt setara dengan solar yang memiliki viskositas maksimal 5 cSt pada suhu 40 °C. Bahkan penurunan metanol hingga 180% masih menghasilkan produk biodiesel yang setara dengan minyak solar. Hal ini menunjukkan bahwa *pilot*

plant system kontinyu dengan bantuan ultrasonik dapat menurunkan pemakaian metanol.

Densitas produk biodiesel dipengaruhi oleh laju alir metanol, di mana dengan bertambahnya laju alir metanol, maka densitas produk biodiesel yang dihasilkan akan semakin berkurang, yang berarti semakin banyak terbentuk metil ester. Dari hasil pengukuran memperlihatkan bahwa densitas biodiesel yang dihasilkan telah memiliki nilai yang sesuai untuk digunakan bahan bakar diesel.

Berdasarkan hasil pengukuran *Cetane Index* (CI), didapatkan CI terbesar pada produk biodiesel dengan laju alir metanol antara 2,2 – 3,1 mL/menit. Hasil CI yang didapatkan telah memenuhi syarat standar biodiesel yang berkisar antara 40 – 60. Pada uji *pilot plant* dengan waktu operasi lebih dari 6 jam, didapatkan hasil yang memuaskan. Hasil uji ini menunjukkan bahwa *pilot plant* kontinyu dan terintegrasi telah berhasil didesain dan dirancang dengan baik sehingga berfungsi sesuai tujuan untuk bisa beroperasi secara kontinyu menghasilkan biodiesel dengan kualitas sesuai standar.

Berikut ini adalah diagram alir proses kontinyu produksi biodiesel:



Gambar 2.1. Diagram Proses Produksi Biodiesel

Untuk biodiesel dan gliserol, produk ditampung dalam gelas beaker yang ditempatkan pada ujung aliran keluaran masing-masing produk, sedangkan untuk air disambungkan langsung dengan selang dan dibuang ke saluran pembuangan. Tiap bahan yang digunakan mengalir dengan pengaruh gravitasi mengatur bukaan valve. Oleh karena itu, agar proses dapat terus berjalan secara kontinyu, perlu diperhatikan level dari masing-masing bahan pada kontainernya masing-masing.

Pada penelitian ini, unit terintegrasi ditunjang terutama oleh adanya unit pemisah yang dapat memisahkan produk secara kontinyu. Oleh karena itu, unit pemisahan ini distudi lebih lanjut dengan cara menganalisis fenomena pemisahan.

2.2. Separator

2.2.1. Separator Minyak-Air API

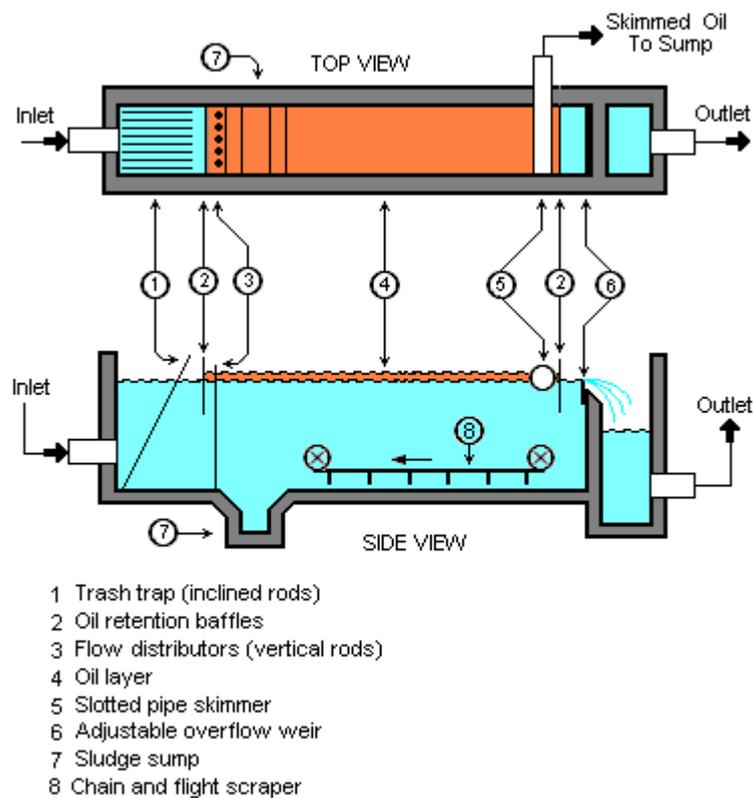
Separator minyak-air API merupakan perangkat yang dirancang untuk memisahkan pengotor pada minyak dan padatan tersuspensi dari limbah cair kilang minyak, pabrik petrokimia, pabrik kimia, pabrik pengolahan gas alam dan sumber industri lainnya. Nama separator tersebut berasal dari fakta bahwa separator tersebut dirancang sesuai dengan standar yang dipublikasikan oleh American Petroleum Institute (API).

Separator API merupakan alat pemisah yang menggunakan prinsip pemisahan gravitasi dengan menggunakan Hukum Stokes untuk menentukan kecepatan naik dari tetesan minyak berdasarkan densitas dan ukurannya. Desain separator didasarkan pada perbedaan berat jenis antara minyak dan air limbah karena perbedaan tersebut jauh lebih kecil dari perbedaan berat jenis antara padatan tersuspensi dan air. Berdasarkan kriteria desain, sebagian besar padatan tersuspensi akan mengendap ke bagian bawah pemisah sebagai lapisan sedimen, minyak akan naik ke atas separator, dan air limbah akan menjadi lapisan tengah antara minyak di atas dan padatan di bagian bawah.

Kriteria desain separator API desain mengontrol kecepatan dalam unit dengan spesifikasi:

- Kecepatan horisontal yang melalui separator bisa mencapai 15 kali lipat dari kecepatan kritis (kecepatan paling rendah untuk dapat naik) tetesan minyak, hingga mencapai angka maksimum 3.0 ft (0,9 m) per menit. Di atas batas ini efek turbulensi cenderung memecah kembali tetesan minyak
- Kedalaman aliran dalam separator harus berada dalam kisaran 3 ft (0,9 m) hingga 8 ft (2,4 m). Batasan ketinggian ini adalah batasan yang harus dilalui oleh tetesan minyak
- Panjang dari separator berkisar antara 6.0 ft (1,8 m) hingga 20,0 ft (6,1 m)
- Rasio kedalaman dan panjang berkisar antara 0,3 hingga 0,5
- Sebuah penyekat retensi minyak harus ditempatkan tidak kurang dari 12 inci (0,3 m) dari alat penyaring (*skimming device*).

Kelebihan dari separator jenis ini adalah desain yang simpel, murah, tahan terhadap *plugging* padatan dan membutuhkan perawatan yang lebih sedikit. Di sisi lain, pemisah API standar dirancang untuk memisahkan tetesan minyak berdiameter 150 mikron atau lebih besar. Dalam prakteknya, ini berarti bahwa limbah tidak akan mengandung kurang dari 50 ppm minyak terpisah karena proporsi yang signifikan dari minyak di bawah 150 mikron diameter. Ukuran dan luas permukaan sebuah separator API memungkinkan disturbansi pada proses pemisahan yang disebabkan oleh angin dan pemotongan yang pendek dari kontaminan.



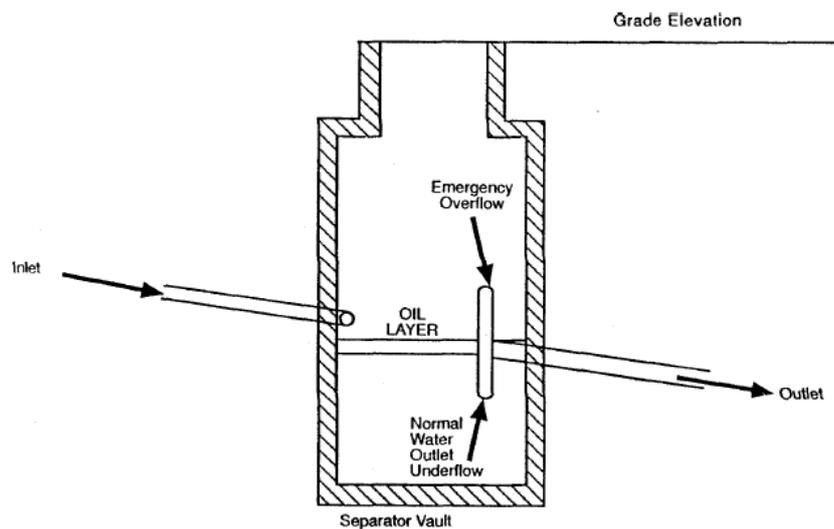
Gambar 2.2. API Separator

Biasanya, lapisan minyak dipisahkan dan kemudian diolah kembali atau dijual, dan lapisan sedimen bawah dihilangkan oleh *chain and flight scraper* (atau alat sejenis) dan pompa lumpur. Lapisan air dialirkan untuk pengolahan lebih lanjut biasanya terdiri dari flotasi udara terlarut (DAF) unit untuk menghilangkan minyak residu dan kemudian ke beberapa jenis unit pengolahan biologis untuk menghilangkan senyawa kimia terlarut yang tidak diinginkan.

2.2.2. Separator Gravitasi

Cara yang paling sederhana untuk memisahkan suatu cairan dengan cairan lainnya cukup dengan mendiamkannya di suatu tempat. Dalam kebanyakan kasus, campuran tersebut cepat atau lambat akan menetap dan membentuk dua lapisan yang berbeda dengan bantuan gravitasi. Separator semacam ini tidak lain hanyalah sebuah ruang kosong dengan volume yang cukup untuk menampung tumpahan (Gambar 2.3.). Efektivitas separator gravitasi tergantung pada desain

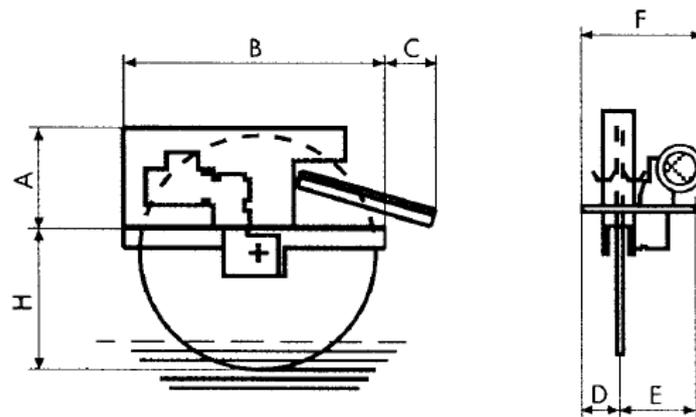
hidrolik yang tepat dan pada periode penahanan air limbah untuk kecepatan naik yang diberikan. Waktu retensi yang lebih lama umumnya meningkatkan efisiensi pemisahan. Penghilangan tetesan minyak yang efektif dengan kecepatan naik yang diberikan adalah fungsi dari sistem geometri. Waktu penahanan cairan harus cukup untuk membiarkan tetesan minyak meningkat pada kecepatan yang diberikan mencapai batas fluida di mana tetesan minyak ini dapat dihilangkan dengan penyaringan (*skimming*). Waktu retensi besar yang lama dibutuhkan untuk desain vessel yang sangat besar: sekitar 15 ft (4,5 m) hingga 20 ft (6 m) dengan diameter 45 ft (14 m) hingga 60 ft (18 m). Pembelian separator gravitasi bisa menjadi investasi modal besar.



Gambar 2.3. Separator Gravitasi

2.2.3. *Skimmer*

Skimmer, seperti namanya, merupakan alat untuk menyaring minyak yang telah dikumpulkan di permukaan air. Ada empat tipe dasar skimmer *belt*, *collector tube*, *wheel*, dan *aerator skimmers*. *Belt* dan *wheel skimmer* merupakan skimmer yang paling banyak digunakan untuk penyaringan minyak.



Gambar 2.4. *Wheel Oil Skimmer*

2.2.4. *Inclined Pelate Separator*

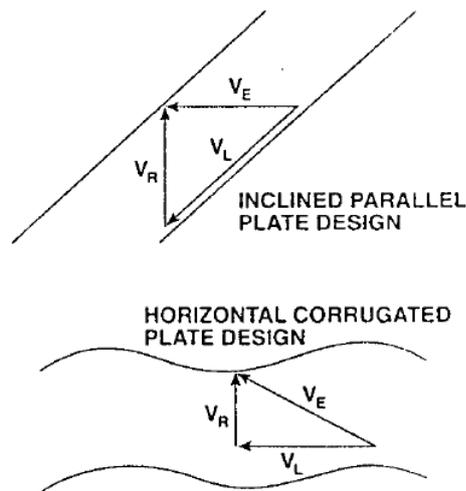
Sistem ini biasanya dibuat dalam modul besar terbuat dari pelat *fiberglass* yang dikemas dalam rangka baja atau *stainless steel*. Tetesan minyak naik memasuki sistem hingga mencapai bagian atas pelat, kemudian bermigrasi bersama pelat hingga mereka mencapai permukaan. Kelebihan dari sistem ini dibandingkan dengan separator API adalah peningkatan efisiensi dalam penghilangan padatan dan minyak, dan ketahanan terhadap *plugging* padatan. Peningkatan tersebut terutama disebabkan oleh penurunan besar dari tinggi kenaikan efektif yang harus dilalui oleh *oil droplets*. Di sisi lain, sistem ini hanya mampu mencapai pemisahan *oil droplets* sampai 60 mikron.

2.2.5. *Flat Corrugated (Horizontal Sinusoidal) Pelate Separator*

Separator pelat pemisah bergelombang biasanya menggunakan pelat *Oleophilic polypropylene* horisontal yang ditumpuk dalam tumpukan vertikal dan diikat ke batang vertikal dengan kabel. Sistem ini menggunakan kombinasi aliran laminar, peleburan dan daya tarik *oleophilic*. Pengurangan kecepatan aliran air dalam aliran laminar dibutuhkan menghindari adanya turbulensi yang dapat mengakibatkan pencampuran air dan minyak, serta dan mengurangi ukuran *oil droplet*. Hukum Stoke menyatakan bahwa tetesan yang lebih besar akan naik lebih cepat dan sehingga akan terpisah lebih baik. Sifat *oleophilic* dari pelat menarik

tetes minyak dan meningkatkan koalesensi ke tetesan yang lebih besar, sehingga akan naik lebih cepat.

Keuntungan dari sistem ini adalah bahwa kumpulan pelat bersifat modular dan relatif kecil ukurannya dibandingkan dengan modul pelat miring. Karena jarak vertikal yang dicakup lebih kecil dibandingkan dengan system *incline pelate*, maka partikel dengan ukuran yang sama akan terpisah dengan lebih cepat. Sebaliknya, dengan waktu tinggal yang sama dalam area pelat menyebabkan separasi yang efektif untuk partikel dengan ukuran yang lebih kecil, di bawah 45-60 mikron. Kelemahan dari sistem ini adalah (terlepas dari kualitas pemisahan yang rendah) kemungkinan penyumbatan pada kumpulan pelat oleh padatan dan kemungkinan kerusakan pada pelat oleh pelarut yang dapat menyerang polypropylene piring-piring seperti BTEX.



Gambar 2.5. Skema Pelat Separator

2.3. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran monoalkil ester dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel. Biodiesel memiliki kandungan enam sampai tujuh macam ester asam lemak. Senyawa ini didefinisikan sebagai metal ester dengan panjang rantai karbon antara 12 sampai 20 dari asam lemak turunan dari lipid. Komposisi

dan sifat kimia dari biodiesel tergantung pada kemurnian, panjang pendek rantai karbon, derajat kejenuhan, dan struktur rantai alkil asam lemak penyusunnya.

Biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar murni ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar diesel (petrodiesel). Biodiesel lebih ramah lingkungan karena *biodegradable* dan *non toxic*. Biodiesel itu sendiri terbuat dari bahan baku yang dapat diperbaharui seperti minyak sayur atau lemak hewan. Bahan baku tersebut kemudian direaksikan dengan alkohol, umumnya metanol atau etanol, bersama dengan katalis. Reaksi tersebut disebut sebagai reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dan menghasilkan senyawa ester biodiesel dan gliserin sebagai hasil samping.

Umumnya bahan baku yang digunakan harus terlebih dahulu dilakukan *pretreatment* untuk memastikan biodiesel yang digunakan sesuai standar. Parameter bahan baku yang digunakan yakni memiliki kandungan FFA maksimal 1%, *water content* 0,1%, *unsaponifiables* 0,8%, dan fosfor 10 ppm. Campuran biodiesel (BXX) adalah biodiesel sebanyak XX% yang telah dicampur dengan solar sejumlah 1-XX%.

Berikut merupakan beberapa keuntungan dari pemakaian biodiesel:

- a) Dihasilkan dari sumber daya energi terbarukan dan ketersediaan bahan bakunya terjamin
- b) *Cetane number* tinggi (bilangan yang menunjukkan ukuran baik tidaknya kualitas solar berdasar sifat kecepatan bahan bakar dalam ruang bakar mesin)
- c) Viskositas tinggi sehingga mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik daripada solar sehingga memperpanjang umur pakai mesin
- d) Dapat diproduksi secara lokal
- e) Mempunyai kandungan sulfur yang rendah
- f) Menurunkan emisi gas buang
- g) Pencampuran biodiesel dengan petroleum diesel dapat meningkatkan *biodegradability petroleum diesel* sampai 500%.

Minyak nabati sebagai sumber utama biodiesel dapat dipenuhi oleh berbagai macam jenis tumbuhan, tergantung pada sumber daya utama yang

banyak terdapat di suatu tempat/negara. Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki banyak sumber daya untuk bahan baku biodiesel. Beberapa sumber minyak nabati yang potensial sebagai bahan baku biodiesel:

Tabel 2.1. Sumber Minyak Nabati (Sumber: Jurnal Insinyur Mesin, 2011)

No.	Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak	Isi (% Berat Kering)
1	Jarak Pagar	<i>Jatropha Curcas</i>	Inti biji	40-60
2	Jarak Kaliki	<i>Ricinus Communis</i>	Biji	45-50
3	Kacang Suuk	<i>Arachis Hypogea</i>	Biji	35-55
4	Kapok/Randu	<i>Celba Pantandra</i>	Biji	24-40
5	Karet	<i>Hevea Brasiliensis</i>	Biji	40-50
6	Kecipir	<i>Psophocarpus Tetrag</i>	Biji	15-20
7	Kelapa	<i>Cocos Nucifera</i>	Inti biji	60-70
8	Kelor	<i>Moringa Oleifera</i>	Biji	30-49
9	Kemiri	<i>Aleurites Moluccana</i>	Inti Biji	57-69
10	Kusambi	<i>Sleichera Trijuga</i>	Sabut	55-70
11	Nimba	<i>Azadiruchta Indica</i>	Inti biji	40-50
12	Saga Utan	<i>Adenantha Pavonina</i>	Inti biji	14-28
13	Sawit	<i>Elais Suincencis</i>	Sabut dan biji	45-70 + 46-54
14	Nyamplung	<i>Callophyllum Lanceatum</i>	Inti biji	40-73
15	Randu Alas	<i>Bombax Malabaricum</i>	Biji	18-26
16	Sirsak	<i>Annona Muricata</i>	Inti biji	20-30
17	Srikaya	<i>Annona Squosa</i>	Biji	15-20

2.4. Proses Pembuatan Biodiesel

Biodiesel dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil ester (biodiesel)/mono-alkyl ester dan gliserin yang merupakan produk samping. Bahan baku utama untuk

pembuatan biodiesel antara lain minyak nabati, lemak hewani, lemak bekas/lemak daur ulang. Sedangkan sebagai bahan baku penunjang yaitu alkohol. Pada pembuatan biodiesel dibutuhkan katalis untuk proses esterifikasi. Produk biodiesel tergantung pada minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku serta pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut.

Alkohol yang digunakan sebagai pereaksi untuk minyak nabati adalah methanol, namun dapat pula digunakan etanol, isopropanol atau butil, tetapi perlu diperhatikan juga kandungan air dalam alkohol tersebut. Bila kandungan air tinggi akan mempengaruhi hasil biodiesel kualitasnya rendah, karena kandungan sabun, ALB dan trigiserida tinggi. Disamping itu hasil biodiesel juga dipengaruhi oleh tingginya suhu operasi proses produksi, lamanya waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran alkohol.

Katalisator dibutuhkan pula guna meningkatkan daya larut pada saat reaksi berlangsung, umumnya katalis yang digunakan bersifat basa kuat yaitu NaOH atau KOH atau Natrium metoksida. Katalis yang akan dipilih tergantung minyak nabati yang digunakan, apabila digunakan minyak mentah dengan kandungan ALB kurang dari 2 %, disamping terbentuk sabun dan juga gliserin.

Katalis tersebut pada umumnya sangat higroskopis dan bereaksi membentuk larutan kimia yang akan dihancurkan oleh reaktan alkohol. Jika banyak air yang diserap oleh katalis maka kerja katalis kurang baik sehingga produk biodiesel kurang baik. Setelah reaksi selesai, katalis harus di netralkan dengan penambahan asam mineral kuat. Setelah biodiesel dicuci proses netralisasi juga dapat dilakukan dengan penambahan air pencuci, HCl juga dapat dipakai untuk proses netralisasi katalis basa, bila digunakan asam fosfat akan menghasilkan pupuk fosfat (K_3PO_4).

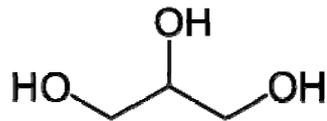
Standar Nasional Indonesia. Pada dasarnya standar bahan bakar tiap Negara disesuaikan dengan iklim dan kondisi setempat.

Tabel 2.2. *Acceptable Value* dari ASTM Standar for Biodiesel dan Spesifikasi Solar Pertamina

No.	Test Property	Satuan	Acceptable Value	Metode Tes
1	Pour point	°C	18 max	ASTM D.97
2	Flash point PM.cc	°C	65 max	ASTM D.93
3	Kadar sulfur	% wt	0,05 max	ASTM D.2622
4	Kadar sedimen	% vol	0,05 max	ASTM D.473
5	Kadar air	% vol	0,05 max	ASTM D.95
6	Kadar abu	% wt	0,01 max	ASTM D.482
7	Viskositas (40°C)	mm ² /detik	1,9-6	ASTM D.445
8	Densitas (15°C)	g/cm ³	0,86-0,90	ASTM D.1298
9	TAN	mgKOH/g	0,8 max	ASTM D.974
10	SAN	mgKOH/g	Nil max	ASTM D.974

2.5. Gliserol

Gliserol merupakan senyawa alkohol yang memiliki 3 gugus hidroksil. Gugus hidroksil yang dimiliki bersifat hidrofilik dan higroskopik. Gliserol memiliki nama baku 1,2,3-propanatriol. Senyawa ini berwujud cair, tidak berwarna dengan titik didih 290°C. Titik didih tinggi yang dimiliki oleh senyawa dengan bobot molekul 92,095 g/mol ini disebabkan adanya ikatan hidrogen yang sangat kuat antar molekul gliserol. Gliserol merupakan bahan baku pembentuk trigliserida yang dapat membentuk ikatan ester dengan asam lemak. Gliserol terasa manis saat dikecap, namun bersifat racun. Gliserol dapat diperoleh dari proses saponifikasi dari lemak hewan, transesterifikasi pembuatan bahan bakar biodiesel, dan proses epiklorohidrin serta proses pengolahan minyak goreng.



Gambar 2.8. Rumus Bangun Gliserol

Gliserol merupakan salah satu bahan yang penting di dalam industri karena dibutuhkan pada berbagai industri, seperti obat-obatan, bahan makanan, kosmetik, pasta gigi,, industri kimia, larutan anti beku, dan tinta *printer*. Berikut sifat fisika dan kimia dari gliserol:

a. Sifat Fisika:

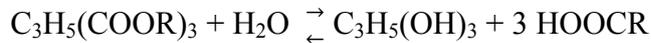
- Rumus molekul :

$$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ | \\ \text{CHOH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$$
- Rumus kimia : $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
- Nama lain : 1,2,3-Propanatriol ; 1,2,3-Trihidroksipropana, Gliserin, Gliseritol, Glisil Alkohol
- Berat molekul : 92,095 g/mol
- Titik didih : 290°C
- Titik leleh : 18°C
- Temperatur kritis : 451,85°C
- Tekanan kritis : 65,83 atm
- *Spesific Gravity* (25°C): 1,262
- Densitas : 1,261 g/cm³
- Viskositas : 1,5 Pa.s
- Panas Jenis : 0,497 kkal/g
- *Flash Point* : 160°C

b. Sifat Kimia:

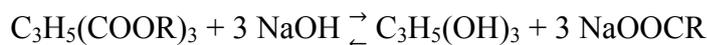
- Hidrolisis

Reaksi hidrolisis antara minyak dan air akan menghasilkan asam lemak dan gliserol, menurut reaksi:



- Saponifikasi

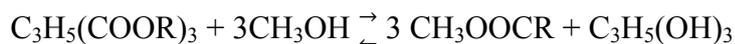
Jika lemak direaksikan dengan alkali untuk menghasilkan gliserol dan garam atau sabun atau logam alkali maka reaksinya sebagai berikut:



Reaksi ini adalah dasar reaksi yang digunakan pada industri sabun.

- Interesterifikasi

Ester beralkohol rendah diperoleh dengan mereaksikan alkohol secara langsung dengan lemak untuk menggantikan gliserol, biasanya menggunakan katalis alkali. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Reaksi ini biasa disebut alkoholisis.

2.6. Hukum Stokes

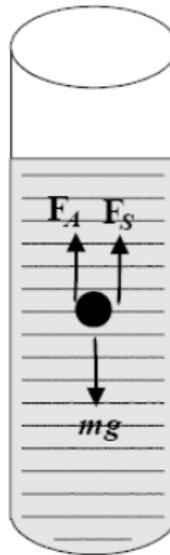
Viskositas (kekentalan) berasal dari kata *Viscous*. Suatu bahan apabila dipanaskan sebelum menjadi cair terlebih dahulu menjadi *viscous*, yaitu menjadi lunak dan dapat mengalir pelan-pelan. Viskositas dapat dianggap sebagai gerakan di bagian dalam (internal) suatu fluida. Jika sebuah benda berbentuk bola dijatuhkan ke dalam fluida kental, misalnya kelereng dijatuhkan ke dalam kolam renang yang airnya cukup dalam, nampak mula-mula kelereng bergerak dipercepat. Tetapi beberapa saat setelah menempuh jarak cukup jauh, nampak kelereng bergerak dengan kecepatan konstan (bergerak lurus beraturan). Ini berarti bahwa di samping gaya berat dan gaya apung zat cair masih ada gaya lain yang bekerja pada kelereng tersebut. Gaya ketiga ini adalah gaya gesekan yang disebabkan oleh kekentalan fluida.

Khusus untuk benda berbentuk bola, gaya gesekan fluida secara empiris dirumuskan sebagai persamaan berikut (Sears, 1984):

$$F_s = 6\pi\eta rv \quad (2.1)$$

Dengan η menyatakan koefisien kekentalan, r adalah jari-jari bola kelereng, dan v kecepatan relatif bola terhadap fluida. Persamaan 2.1 pertama kali dijabarkan oleh Sir George Stokes tahun 1845, sehingga disebut *Hukum Stokes*.

Sebuah bola padat memiliki rapat massa ρ_b dan berjari-jari r dijatuhkan tanpa kecepatan awal ke dalam fluida kental memiliki rapat massa ρ_f , di mana $\rho_b > \rho_f$. Telah diketahui bahwa bola mula-mula mendapat percepatan gravitasi, namun beberapa saat setelah bergerak cukup jauh bola akan bergerak dengan kecepatan konstan. Kecepatan yang tetap ini disebut kecepatan akhir v_T atau kecepatan terminal yaitu pada saat gaya berat bola sama dengan gaya apung ditambah gaya gesekan fluida. Gambar 2.9. menunjukkan sistem gaya yang bekerja pada bola kelereng yakni F_A = gaya Archimedes, F_s = gaya Stokes, dan $W = mg$ = gaya berat kelereng.



Gambar 2.9. Gaya yang Bekerja Pada Saat Bola dengan Kecepatan Tetap

Jika saat kecepatan terminal telah tercapai, pada Gambar 2.9. berlaku prinsip Newton tentang GLB (gerak lurus beraturan), yaitu:

$$F_A + F_s = W \quad (2.2)$$

Jika ρ_b menyatakan rapat massa bola, ρ_f menyatakan rapat massa fluida, dan V_b menyatakan volume bola, serta g gravitasi bumi, maka berlaku persamaan:

$$W = \rho_b \times V_b \times g \quad (2.3)$$

$$F_A = \rho_f \times V_b \times g \quad (2.4)$$

Rapat massa bola ρ_b dan rapat massa fluida ρ_f dapat diukur dengan menggunakan persamaan:

$$\rho_b = \frac{\text{massa bola}}{\text{volume bola}} \quad (2.5)$$

$$\rho_f = \frac{(m_{gu} + m_f) - m_{gu}}{V_f} \quad (2.6)$$

Dengan m_{gu} menyatakan massa gelas ukur, m_f massa fluida, V_f volume fluida. Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) dan (2.4) ke dalam persamaan (2.2) maka diperoleh persamaan:

$$F_s = V_b g (\rho_b - \rho_f) \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.1) ke dalam persamaan (2.7) diperoleh persamaan:

$$V_T = \frac{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9\eta} \quad (2.8)$$

Jarak d yang ditempuh bola setelah bergerak dengan kecepatan terminal dalam waktu tempuhnya t maka persamaan (2.8) menjadi persamaan:

$$\frac{d}{t} = \frac{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9\eta}$$

$$\frac{1}{t} = \frac{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}{9d\eta}$$

$$t = \frac{9d\eta}{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)}$$

Atau $t = kd \quad (2.9)$

Dengan nilai k :

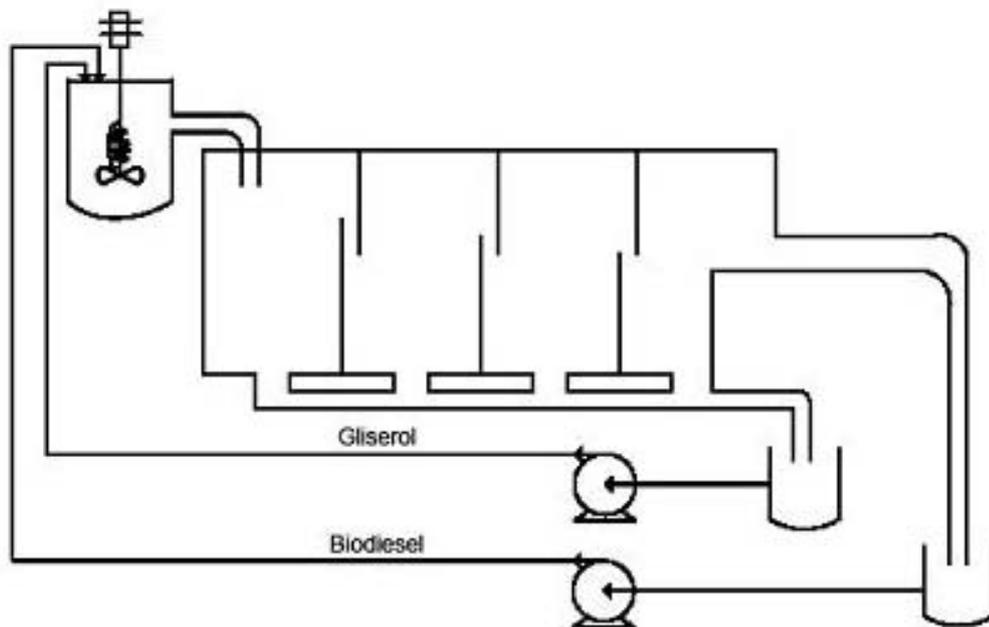
$$k = \frac{9\eta}{2r^2 g (\rho_b - \rho_f)} \quad (2.10)$$

Satuan viskositas fluida dalam sistem cgs adalah *dyne det cm⁻²*, yang biasa disebut dengan istilah poise di mana 1 poise sama dengan 1 *dyne det cm⁻²*. Viskositas dipengaruhi oleh perubahan suhu. Apabila suhu naik maka viskositas menjadi turun atau sebaliknya.

BAB 3

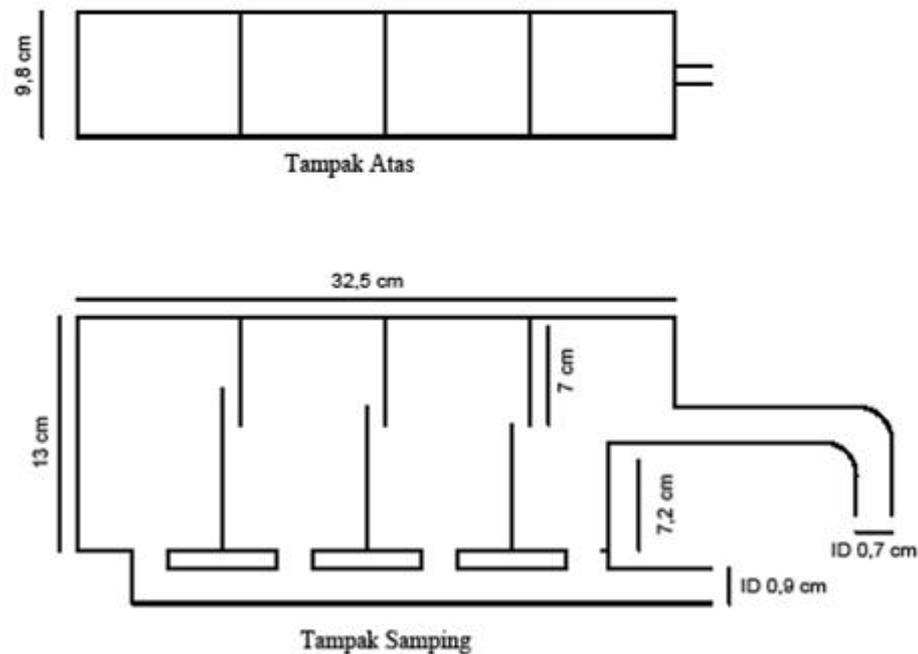
METODE PENELITIAN

Pemisahan sempurna biodiesel dan gliserol diindikasikan dengan ketinggian biodiesel sebagai parameter utama keberhasilan pemisahan. Peralatan yang digunakan dalam pemisahan biodiesel-gliserol secara kontinyu dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.1. Separator dan Peralatan Penunjang

Gambar 3.1. menunjukkan bahwa proses pemisahan berjalan kontinyu yang terlihat dari aliran keluar dari umpan yang berupa campuran biodiesel dan gliserol masuk ke dalam separator, kemudian keluar dari separator berupa biodiesel dan gliserol hasil pemisahan. Biodiesel dan gliserol yang telah memisah ini ditampung di dalam wadah yang berbeda dan dipompakan kembali ke dalam tangki berpengaduk. Proses ini berjalan secara terus-menerus. Separator merupakan alat utama yang diamati untuk keberlangsungan proses pemisahan. Separator yang digunakan pada penelitian ini didesain dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.2. Dimensi Separator

Separator yang terlihat pada Gambar 3.2. adalah separator yang digunakan untuk penelitian Nasikin, dkk., mengenai intensifikasi dan integrasi produk hilir kelapa sawit untuk mempercepat komersialisasi. Alat ini sebelumnya hanya digunakan untuk satu variasi *baffle* saja. Untuk itu pada penelitian ini digunakan variasi untuk tiga macam ketinggian *baffle* yang berbeda.

3.1. Variabel Bebas dan Variabel Terikat

Variabel bebas yang divariasikan pada penelitian ini adalah :

1. Ketinggian *baffle*, yakni sebesar :
 - 7 cm : 6 cm : 5 cm
 - 7 cm : 6,5 cm : 6 cm
 - 8 cm : 7 cm : 6 cm
2. Laju alir biodiesel dan gliserol.

Adapun variabel terikat pada penelitian ini adalah parameter yang akan diamati pada berbagai laju alir, yakni :

1. Ketinggian biodiesel dan gliserol pada masing-masing kompartemen
2. Laju alir keluar biodiesel dan gliserol.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Reaktor transesterifikasi
2. Tangki pengaduk
3. Agitator berkoil
4. Agitator
5. Separator biodiesel
6. Selang plastik
7. Pompa (2)
8. Tangki (2)
9. Gelas ukur 10 ml, 50 ml, dan 100 ml
10. Penggaris
11. *Baffle*
12. *Valve*
13. *Stopwatch*
14. Piknometer (10 ml)
15. Timbangan Digital
16. Pipet Tetes

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Minyak nabati (minyak sawit)
2. Metanol (CH_3OH)
3. NaOH
4. Asam Nitrat (HNO_3)
5. Gliserol

3.3. Prosedur Penelitian

Dari data percobaan yang diperoleh, dilakukan semacam seleksi data di mana data yang digunakan adalah data-data untuk pemisahan sempurna saja.

3.3.1. Preparasi Separator

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mendapatkan separator dengan berbagai variasi ketinggian *baffle*. Jumlah *baffle* yang digunakan untuk masing-masing separator adalah 3 buah sehingga separator akan terdiri dari 4 ruang kompartemen. Ruang separator berukuran 32,5 cm : 9,8 cm : 13 cm. Tebal kaca yang digunakan untuk separator adalah 5 mm, sedangkan tebal kaca yang digunakan untuk *baffle* adalah 3 mm.

3.3.2. Preparasi Biodiesel

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mendapatkan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari minyak nabati (minyak sawit). Minyak sawit direaksikan dengan metanol (CH_3OH) dan menggunakan katalis NaOH. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Memanaskan 10 liter minyak sawit hingga mencapai suhu 60°C di dalam reaktor.
2. Melarutkan 45 gram katalis NaOH dalam 2,5 liter etanol.
3. Menuang larutan metanol + NaOH ke dalam reaktor secara perlahan dan pengadukan secara konstan.
4. Mereaksikan bahan-bahan tersebut pada suhu 60°C (dijaga konstan) selama 1 jam.
5. Setelah satu jam, menambahkan 50 ml asam nitrat HNO_3 lalu direaksikan selama 1 jam.
6. Mengeluarkan produk dan mendinginkan selama 1 hari.
7. Memisahkan FAME dan gliserin yang terbentuk.

3.3.3. Pengukuran Densitas dan Viskositas Bahan

3.3.3.1. Pengukuran Densitas Bahan

1. Menimbang massa piknometer kosong
2. Memasukkan biodiesel/gliserol ke dalam piknometer
3. Menimbang massa piknometer + biodiesel/gliserol
4. Menghitung densitas biodiesel/gliserol dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{W_{\text{piknometer+bahan}} - W_{\text{piknometer kosong}}}{10 \text{ ml}} \quad (3.1)$$

3.3.3.2. Pengukuran Viskositas Bahan

Pengukuran viskositas biodiesel dan gliserol dilakukan dengan menggunakan viskometer digital di Laboratorium Proses Kimia Dasar Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Viskometer yang digunakan bertipe spindle LV-61 yang dilengkapi dengan kecepatan putaran dan torsinya.

3.3.4 Proses Separasi Campuran Biodiesel-Gliserol

1. Menyalakan alat. Mengatur suhu koil pemanas pada 60°C
2. Menyalakan pompa biodiesel dan gliserol
3. Mengatur laju alir biodiesel dan gliserol dengan kalibrasi. Perbandingan laju alir biodiesel : gliserol sebesar 10 : 1. Mencatat laju alir masukan biodiesel dan gliserol yang digunakan.
4. Mengamati dan mencatat ketinggian biodiesel dan gliserol pada tiap kompartemen
5. Mengukur dan mencatat laju alir keluaran biodiesel dan gliserol
6. Mengulangi langkah-langkah tersebut untuk separator dengan variasi ketinggian *baffle* yang lain

3.4 Pelaksanaan Penelitian

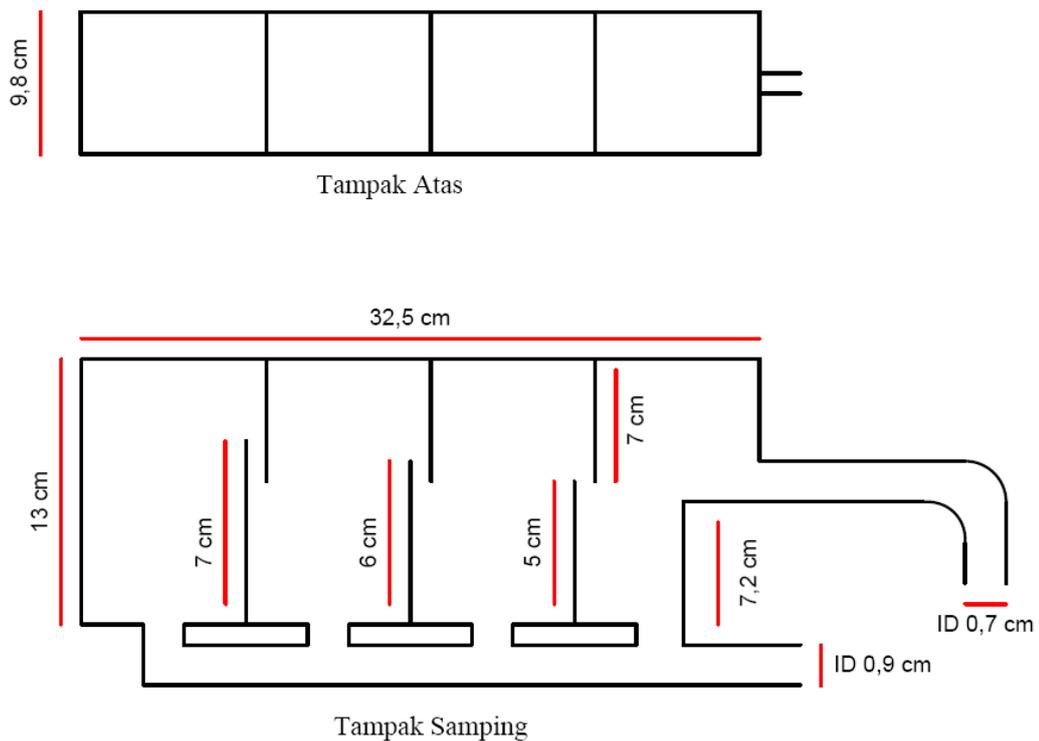
Keseluruhan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Proses Operasi Teknik (POT) lantai 1 Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

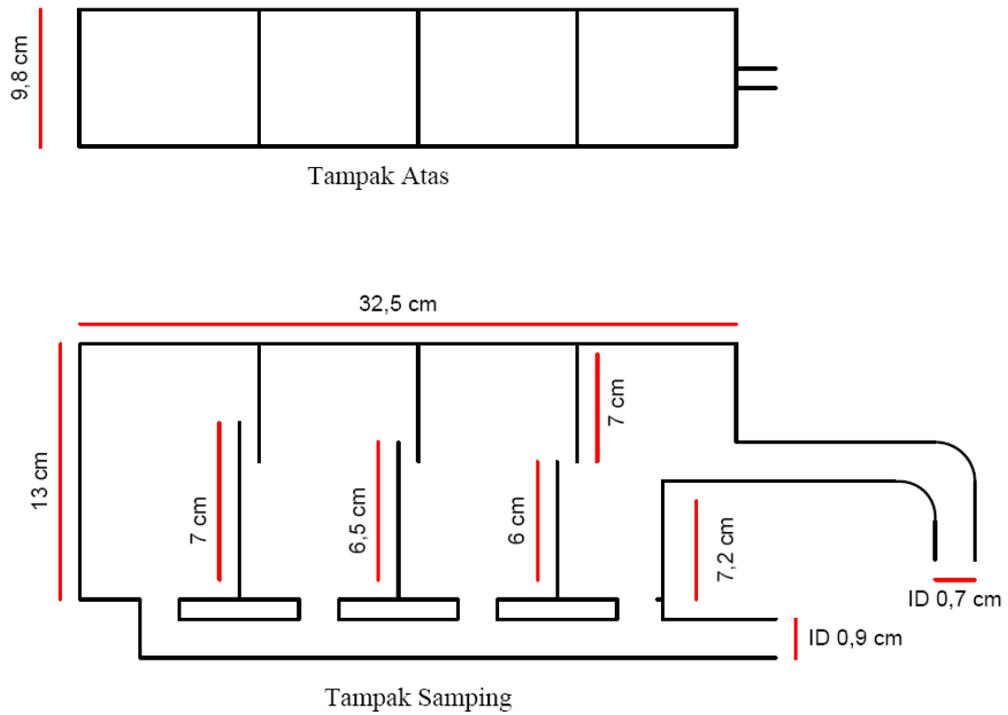
4.1. Analisis Desain Alat

Alat pemisah biodiesel – gliserol ini didesain berdasarkan prinsip waktu tinggal. Semakin lama waktu tinggal, maka semakin baik pemisahan antara biodiesel dengan gliserol. Oleh karena itu, separator dibagi menjadi beberapa kompartemen dengan ketinggian *baffle* tertentu agar waktu tinggal fluida di dalam separator lebih lama.

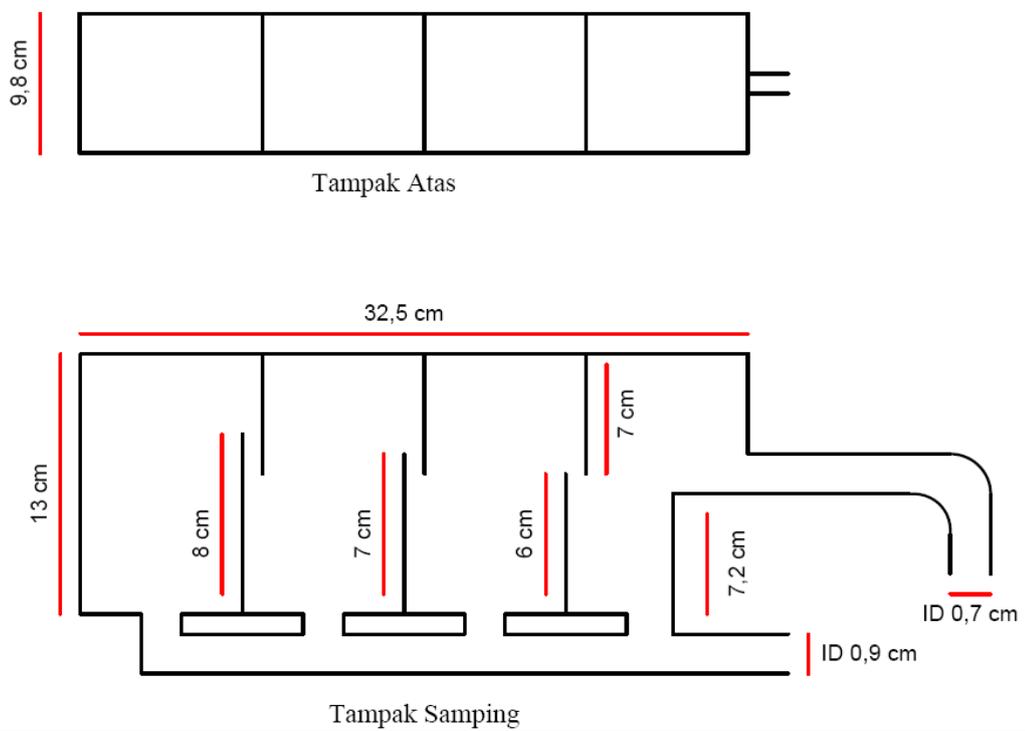
Berikut merupakan gambar rancangan desain dari separator biodiesel – gliserol :



Gambar 4.1. Dimensi Separator A dengan Ketinggian *Baffle* 7 cm ; 6 cm ;5 cm



Gambar 4.2. Dimensi Separator B dengan Ketinggian *Baffle* 7 cm ; 6,5 cm ; 6 cm



Gambar 4.3. Dimensi Separator C dengan Ketinggian *Baffle* 8 cm ; 7 cm ; 6 cm

Separator berbentuk ruang segi empat dengan panjang : lebar : tinggi = 32,5 cm : 9,8 cm : 13 cm. Separator dibagi menjadi 4 ruang kompartemen dengan masing-masing kompartemen diberi pemisah berupa *baffle*. Ketinggian *baffle* tiap kompartemen berbeda, tergantung pada variasi ketinggian yang diinginkan. Untuk penelitian ini ketinggian *baffle* yang digunakan yakni :

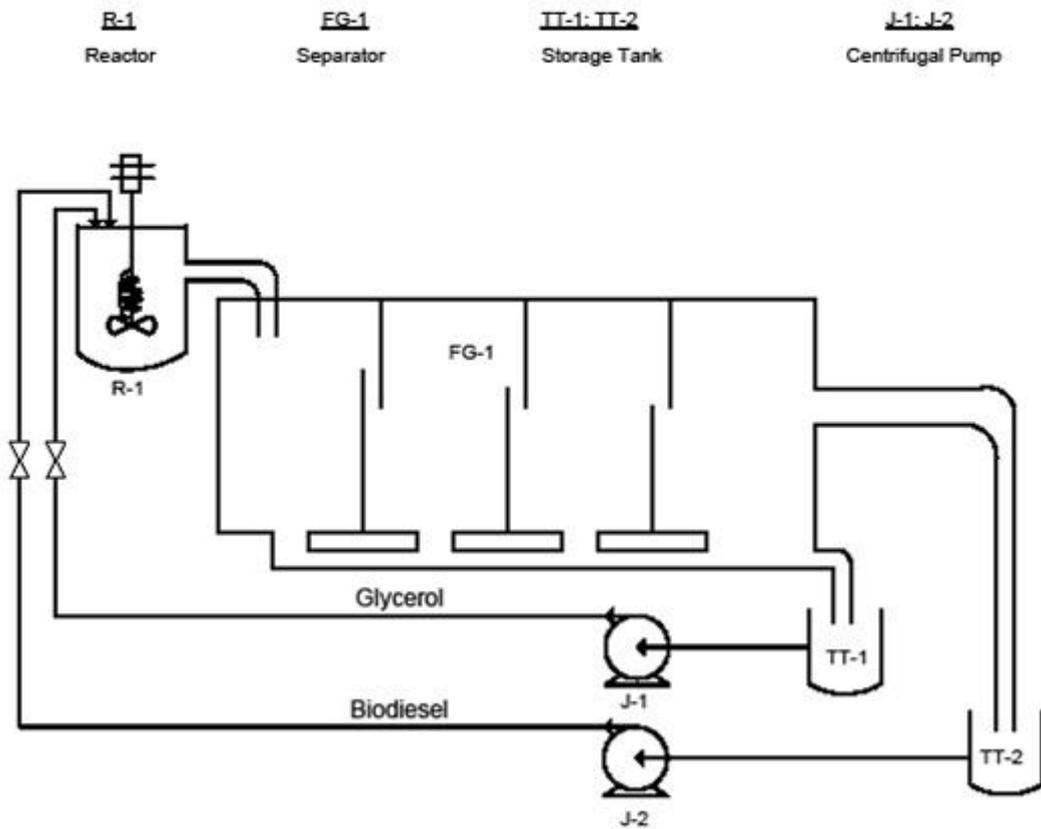
- 7 cm : 6 cm : 5 cm
- 7 cm : 6,5 cm : 6 cm
- 8 cm : 7 cm : 6 cm

Ketinggian *baffle* dirancang semakin rendah agar fluida dapat mengalir dari kompartemen yang satu ke kompartemen yang lain. Pada bagian atas separator dipasang pula 3 buah *baffle* sebagai penahan fluida yang memiliki viskositas lebih kecil, sehingga fluida tersebut diharapkan akan tinggal lebih lama di dalam kompartemen.

Pada bagian bawah tiap kompartemen, diberi lubang dengan diameter dalam $\pm 0,9$ cm. Fungsinya adalah sebagai tempat keluaran fluida dengan viskositas yang lebih besar. Pada ujung kompartemen diberi satu buah lubang dengan diameter dalam ± 1 cm dan diletakkan pada ketinggian 7,2 cm dari dasar separator sebagai tempat keluaran fluida dengan viskositas yang lebih kecil.

Bahan yang digunakan dalam rancangan separator ini adalah kaca dengan tebal 5 mm, sedangkan untuk *baffle* ketebalannya 3 mm.

Alat pendukung lain yang digunakan pada penelitian ini adalah tangki pengaduk berkoil, pompa sentrifugal, tangki biodiesel, tangki gliserol, serta selang yang dilengkapi dengan *valve*.



Gambar 4.4. Separator dan Alat Penunjang

Kegunaan dari tangki pengaduk berkoil adalah untuk mencampur biodiesel dan gliserol pada suhu tinggi. Koil dipasang agar dapat mengalirkan panas ke campuran biodiesel-gliserol. Suhu tinggi diperlukan dalam pencampuran ini karena bila dilakukan pada suhu ruang, biodiesel dan gliserol tidak akan bercampur (tetap terpisah). Pada tangki pengaduk ini dipasang pula *temperature controller* untuk menjaga agar suhu tetap berada pada kisaran yang diinginkan.

Tangki biodiesel digunakan sebagai wadah untuk biodiesel, baik itu biodiesel hasil keluaran separator maupun biodiesel yang akan dialirkan ke tangki pengaduk berkoil. Begitu pula dengan tangki gliserol yang digunakan sebagai wadah untuk gliserol, baik itu gliserol hasil keluaran separator maupun gliserol yang akan dialirkan ke tangki pengaduk berkoil.

Pompa sentrifugal berfungsi untuk mengalirkan fluida dari wadah (tangki biodiesel dan tangki gliserol) ke tangki pengaduk berkoil. Selang yang dipasang memiliki *valve* agar laju alir fluida yang masuk ke dalam tangki pengaduk berkoil dapat diatur sesuai kebutuhan.

4.2. Analisis Data dan Grafik

Pada penelitian ini, dengan memvariasikan laju alir didapatkan data ketinggian biodiesel dan gliserol, serta laju alir keluar yang dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut. Perbandingan komposisi biodiesel dan gliserol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 : 1. Biodiesel dan gliserol yang telah bercampur kemudian mengalir ke dalam separator dan memasuki kompartemen pertama. Di dalam kompartemen pertama biodiesel dan gliserol sudah mulai memisah sehingga dapat terlihat sebagai dua lapisan yang berbeda dan ketinggiannya dapat diamati. Biodiesel kemudian mengalir ke kompartemen ke dua melalui *overflow* dan gliserol mengalir melalui bagian bawah kompartemen yang telah dilubangi. Begitu pula selanjutnya aliran biodiesel dan gliserol hingga mencapai kompartemen ke empat.

Data-data ketinggian biodiesel dan gliserol pada masing-masing kompartemen dapat diamati pada tabel 4.1.. Pada tabel 4.1. juga dapat dilihat laju alir masuk umpan campuran biodiesel dan gliserol, laju alir keluaran produk biodiesel dan gliserol, suhu campuran umpan, serta waktu tinggal biodiesel dan gliserol di dalam separator.

Suhu campuran umpan semakin lama semakin kecil seiring dengan kenaikan laju alir umpan. Hal ini disebabkan oleh laju alir umpan biodiesel dan gliserol yang semakin besar, sehingga waktu yang digunakan untuk pemanasan campuran pun semakin sedikit. Akibatnya, suhu campuran semakin kecil. Begitu pula dengan waktu tinggal campuran di dalam separator yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh laju alir yang digunakan semakin besar, sehingga produk biodiesel dan gliserol lebih cepat keluar dari separator.

a. Ketinggian Baffle 7 cm : 6 cm : 5 cm

Berikut data-data mengenai laju alir masuk umpan, ketinggian fluida pada tiap kompartemen, laju alir keluar produk, suhu campuran umpan, dan waktu tinggal fluida di dalam separator pada variasi ketinggian *baffle* 7 cm : 6 cm : 5 cm.

Tabel 4.1. Data Laju Alir, Ketinggian Fluida, Suhu, dan Waktu Tinggal pada Variasi Ketinggian *Baffle* 7 cm : 6 cm : 5 cm

Laju Alir Masuk Umpan				Kompartemen								Laju Alir Keluar Produk			Suhu (°C)	Waktu (menit)
				1		2		3		4						
Bio* (ml/s)	G** (ml/s)	G**/Bio*	Total (ml/s)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (ml/s)	G** (ml/s)	Total (ml/s)		
2,70	0,27	0,10	2,97	8,80	2,00	8,40	2,20	7,40	4,60	6,90	5,80	0,00	1,20	1,20	60	60
4,00	0,42	0,11	4,42	9,50	2,10	8,50	3,50	7,50	5,70	7,50	6,40	3,40	1,30	4,70	51	33
6,10	0,63	0,10	6,73	9,50	2,00	8,50	2,50	7,50	4,50	7,30	4,70	5,60	1,40	7,00	46	21
6,80	0,70	0,10	7,50	9,00	2,10	8,40	1,90	7,40	3,40	7,30	2,90	3,40	0,57	3,97	45	10
8,40	0,84	0,10	9,24	9,50	2,00	9,00	2,00	8,00	1,00	8,00	1,00	7,90	1,70	9,60	42	38
9,80	1,00	0,10	10,80	9,50	2,00	8,50	2,70	7,60	4,10	7,80	3,40	9,30	0,63	9,93	36	8

Ket:

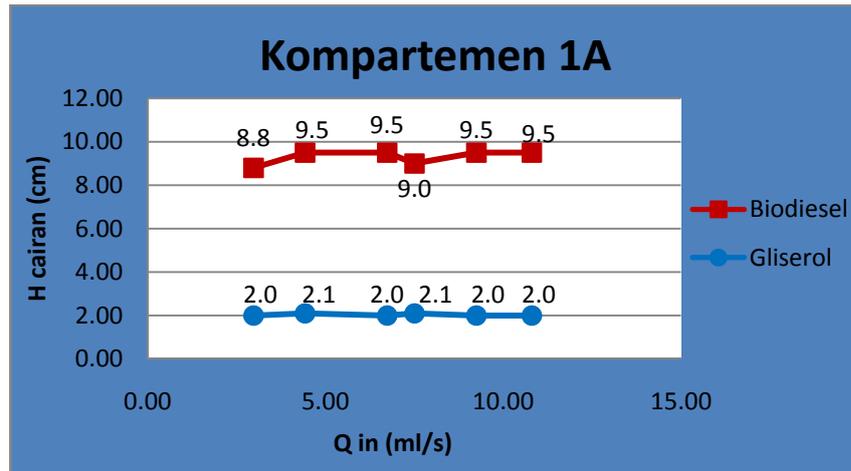
*Biodiesel

** Gliserol

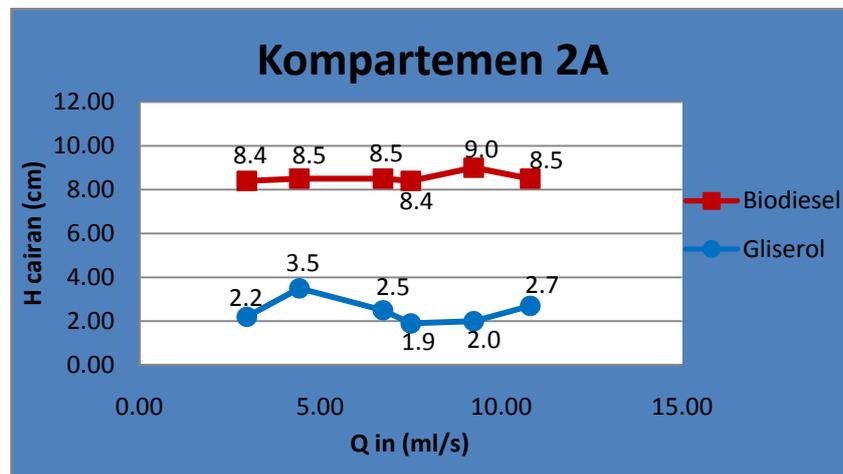
Pada tabel 4.1. dapat dilihat bahwa variasi laju alir umpan yang digunakan berkisar antara 2,97 ml/s hingga 10,80 ml/s. Biodiesel dan gliserol sudah mulai memisah semenjak berada di kompartemen pertama. Pemisahan ini diindikasikan dari ketinggian biodiesel dan gliserol yang terlihat dan dapat diamati. Pada separator a (dengan ketinggian *baffle* 7 cm : 6 cm : 5 cm) ketinggian biodiesel cenderung tetap meskipun menggunakan berbagai variasi laju alir. Pada kompartemen satu ketinggian biodiesel ini berkisar antara 8,80 cm hingga 9,50 cm, pada kompartemen dua berkisar antara 8,40 cm hingga 9,00 cm, pada kompartemen tiga berkisar antara 7,40 cm hingga 8,00 cm, dan pada kompartemen empat berkisar antara 6,90 cm hingga 8,00 cm.

Lain halnya dengan biodiesel, berdasarkan data-data ketinggian dalam kompartemen yang dihasilkan dapat terlihat bahwa gliserol memiliki kecenderungan semakin menurun, kecuali pada kompartemen pertama. Hal ini disebabkan oleh laju alir yang digunakan semakin tinggi, sehingga waktu tinggal gliserol di dalam kompartemen pun semakin cepat. Perlu diketahui waktu tinggal sebanding dengan pengendapan gliserol. Semakin lama waktu tinggal, maka semakin banyak gliserol yang mengendap. Pada kompartemen pertama, ketinggian gliserol cenderung tetap dan terlihat lebih rendah dibandingkan dengan pada kompartemen ke dua. Hal ini disebabkan oleh endapan gliserol pada kompartemen pertama masih sedikit sehingga terlihat lebih rendah. Selanjutnya pada kompartemen ke dua gliserol semakin mengendap dan berpisah dengan biodiesel, akibatnya gliserol pada kompartemen dua ini terlihat lebih tinggi. Pada kompartemen ke tiga, endapan gliserol semakin banyak sehingga terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan dua kompartemen sebelumnya. Endapan gliserol pada kompartemen empat terlihat paling tinggi karena pemisahan biodiesel dan gliserol yang semakin sempurna. Selanjutnya gliserol pada kompartemen empat ini keluar melalui lubang keluaran gliserol.

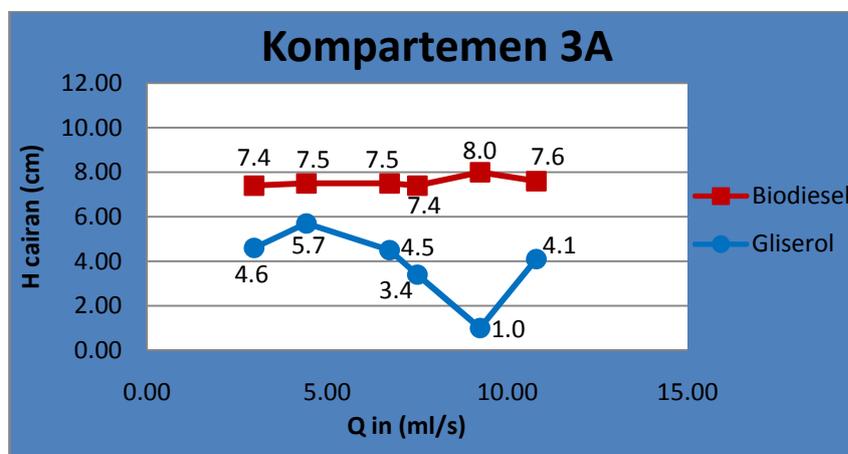
Untuk lebih jelasnya, profil ketinggian biodiesel dan gliserol pada masing-masing kompartemen dapat dilihat pada grafik berikut (dengan H sebagai ketinggian fluida dan Q sebagai laju alir umpan):



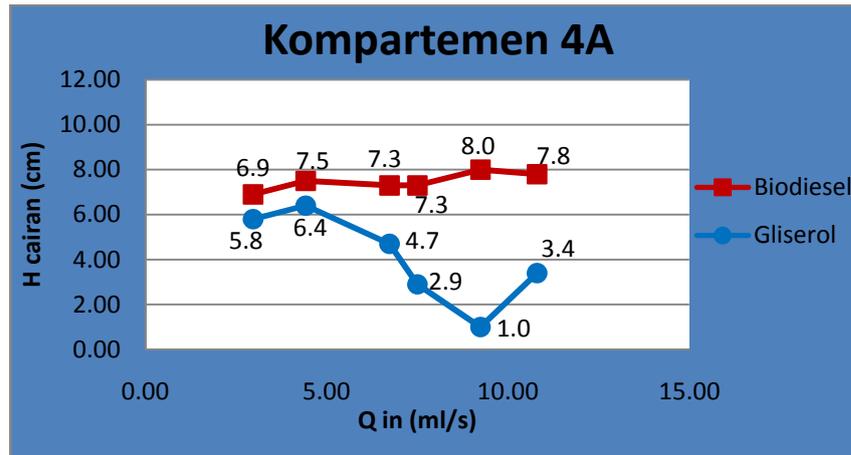
Gambar 4.5. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 1A



Gambar 4.6. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 2A



Gambar 4.7. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 3A



Gambar 4.8. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 4A

Dari keempat grafik tersebut dapat dilihat bahwa jarak antara biodiesel dan gliserol semakin mengecil. Hal ini disebabkan oleh ketinggian biodiesel yang semakin rendah dari kompartemen satu hingga kompartemen empat dan ketinggian gliserol yang semakin bertambah dari kompartemen satu hingga kompartemen empat. Ketinggian biodiesel yang semakin rendah ini diakibatkan oleh desain *baffle* yang dibuat semakin rendah, yakni 7 cm, 6 cm, kemudian 5 cm, sehingga fluida yang tertahan pada kompartemen-kompartemen tersebut pun semakin rendah. Selain itu biodiesel juga memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan gliserol, akibatnya biodiesel berada di atas gliserol. Letak biodiesel yang berada di atas gliserol diakibatkan oleh perbedaan densitas antara keduanya.

Biodiesel yang digunakan dalam percobaan ini memiliki densitas:

$$\rho = \frac{w_{\text{piknometer+bahan}} - w_{\text{piknometer kosong}}}{10 \text{ ml}} \quad (3.1)$$

$$\rho = \frac{24,21 \text{ gr} - 15,44 \text{ gr}}{10 \text{ ml}} = 0,88 \text{ gr/ml}$$

Sedangkan gliserol yang digunakan dalam percobaan ini memiliki densitas:

$$\rho = \frac{27,54 \text{ gr} - 14,77 \text{ gr}}{10 \text{ ml}} = 1,28 \text{ gr/ml}$$

Dengan perbedaan densitas kedua fluida yang cukup besar (0,88 gr/ml dan 1,28 gr/ml) serta sifat kedua fluida yang tidak saling larut, maka hanya dibutuhkan proses separasi mekanis saja dengan menggunakan prinsip waktu tinggal.

b. Ketinggian Baffle 7 cm : 6,5 cm : 6 cm

Untuk mendapatkan ketinggian *baffle* yang optimum maka dilakukan variasi kedua ketinggian *baffle*, yakni 7 cm : 6,5 cm : 5 cm. Data-data mengenai laju alir masuk umpan, ketinggian fluida pada tiap kompartemen, laju alir keluar produk, suhu campuran umpan, dan waktu tinggal fluida di dalam separator pada variasi ketinggian *baffle* 7 cm : 6,5 cm : 6 cm dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.2. Laju Alir, Ketinggian Fluida, Suhu, dan Waktu Tinggal pada Variasi Ketinggian *Baffle* 7 cm : 6,5 cm : 6 cm

Laju Alir Masuk Umpan				Kompartemen								Laju Alir Keluar Produk			Suhu (°C)	Waktu (menit)
				1		2		3		4						
Bio* (ml/s)	G** (ml/s)	G**/Bio*	Total (ml/s)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (ml/s)	G** (ml/s)	Total (ml/s)		
1,00	0,10	0,10	1,10	9,40	3,00	8,90	3,80	8,20	4,70	7,10	6,60	0,80	1,10	1,90	56	37
4,20	0,40	0,10	4,60	9,50	1,90	8,90	2,50	8,40	3,30	7,40	5,20	3,10	1,02	4,12	47	20
5,00	0,54	0,11	5,54	9,20	2,10	8,90	2,00	8,40	3,40	7,20	5,40	3,20	0,90	4,10	51	23
5,50	0,60	0,11	6,10	9,50	1,80	9,00	2,00	8,40	3,50	7,50	6,70	3,80	0,70	4,50	54	50
8,50	0,84	0,10	9,34	9,50	1,90	8,90	2,00	8,30	2,60	8,10	2,50	9,10	0,80	9,90	41	7

Ket:

*Biodiesel

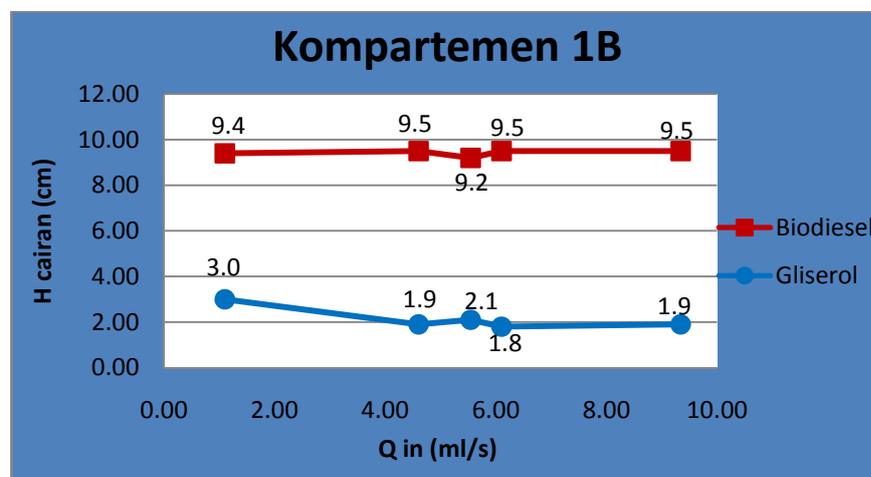
** Gliserol

Fenomena yang terjadi pada variasi ke dua ini tidak jauh berbeda dengan yang terjadi pada variasi pertama. Pada tabel 4.2. dapat dilihat bahwa variasi laju alir umpan yang digunakan berkisar antara 1,10 ml/s hingga 9,34 ml/s. Biodiesel dan gliserol sudah mulai memisah semenjak berada di kompartemen pertama. Pemisahan ini diindikasikan dari ketinggian biodiesel dan gliserol yang terlihat dan dapat diamati.

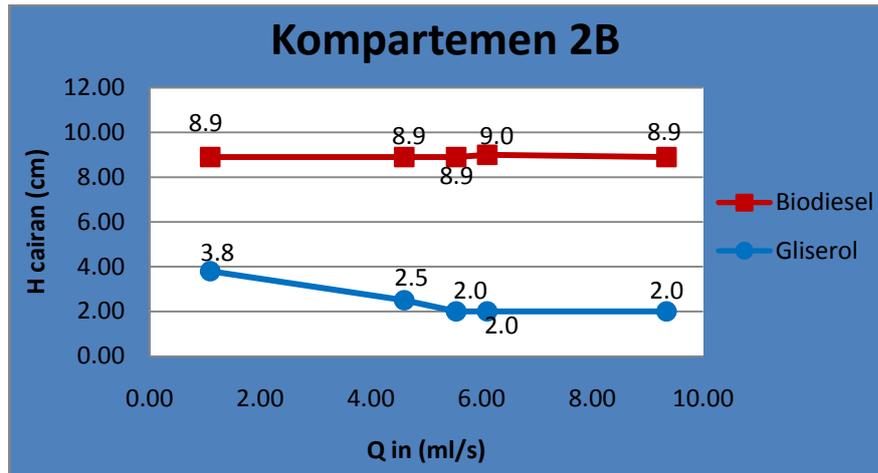
Ketinggian biodiesel cenderung tetap meskipun menggunakan berbagai variasi laju alir. Pada kompartemen satu ketinggian biodiesel ini berkisar antara 9,20 cm hingga 9,50 cm, pada kompartemen dua berkisar antara 8,90 cm hingga 9,00 cm, pada kompartemen tiga berkisar antara 8,20 cm hingga 8,40 cm, dan pada kompartemen empat berkisar antara 7,10 cm hingga 8,10 cm.

Seperti pada variasi pertama, gliserol pada variasi ke dua ini juga memiliki kecenderungan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh laju alir yang digunakan semakin tinggi, sehingga waktu tinggal gliserol di dalam kompartemen pun semakin cepat. Ketinggian gliserol biodiesel pada tiap kompartemen pun semakin bertambah dari kompartemen satu hingga kompartemen empat. Hal ini disebabkan oleh akumulasi endapan gliserol yang semakin besar dari kompartemen satu hingga kompartemen empat. Gliserol pun semakin banyak yang berpisah dengan biodiesel, sehingga semakin banyak yang terakumulasi di bagian bawah kompartemen.

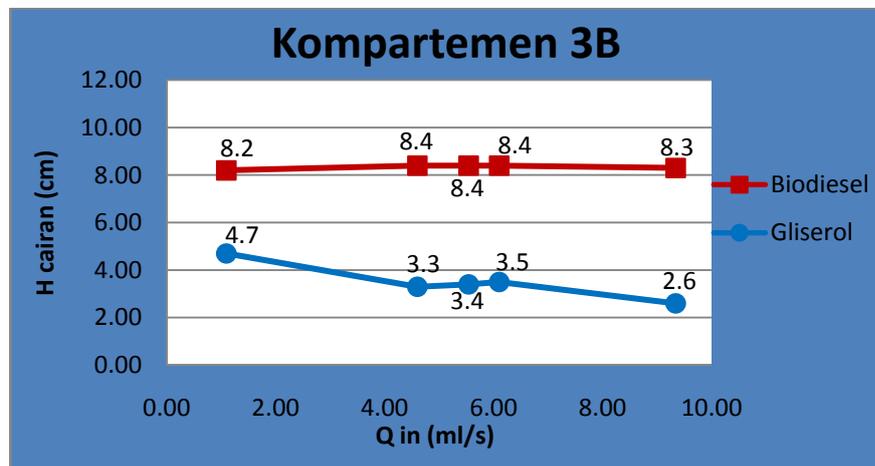
Untuk lebih jelasnya, profil ketinggian biodiesel dan gliserol pada masing-masing kompartemen dapat dilihat pada grafik berikut:



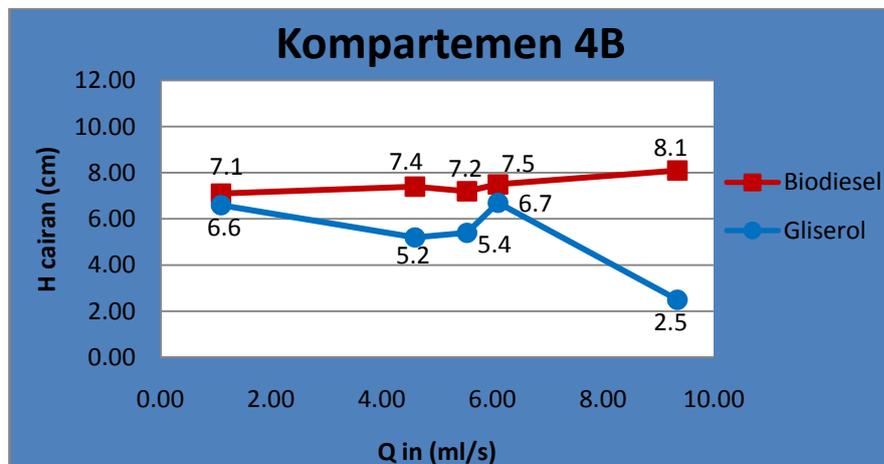
Gambar 4.9. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 1B



Gambar 4.10. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 2B



Gambar 4.11. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 3B



Gambar 4.12. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 4B

Dari keempat grafik tersebut dapat dilihat bahwa jarak antara biodiesel dan gliserol semakin mengecil. Hal ini disebabkan oleh ketinggian biodiesel yang semakin rendah dari kompartemen satu hingga kompartemen empat dan ketinggian gliserol yang semakin bertambah dari kompartemen satu hingga kompartemen empat. Ketinggian biodiesel yang semakin rendah ini diakibatkan oleh desain *baffle* yang dibuat semakin rendah, yakni 7 cm, 6,5 cm, kemudian 6 cm, sehingga fluida yang tertahan pada kompartemen-kompartemen tersebut pun semakin rendah. Selain itu biodiesel juga memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan gliserol, akibatnya biodiesel berada di atas gliserol. Letak biodiesel yang berada di atas gliserol diakibatkan oleh perbedaan densitas antara keduanya.

c. Ketinggian Baffle 8 cm : 7 cm : 6 cm

Dari kedua variasi, kondisi optimum belum didapatkan, sehingga dilakukan variasi ke tiga dengan ketinggian *baffle* 8 cm : 7 cm : 6 cm. Data-data mengenai laju alir masuk umpan, ketinggian fluida pada tiap kompartemen, laju alir keluar produk, suhu campuran umpan, dan waktu tinggal fluida di dalam separator pada variasi ketinggian *baffle* 8 cm : 7 cm : 6 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3. Laju Alir, Ketinggian Fluida, Suhu, dan Waktu Tinggal pada Variasi Ketinggian *Baffle* 8 cm : 7 cm : 6 cm

Laju Alir Masuk Umpan				Kompartemen								Laju Alir Keluar Produk			Suhu (°C)	Waktu (menit)
				1		2		3		4						
Bio* (ml/s)	G** (ml/s)	G**/Bio*	Total (ml/s)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (cm)	G** (cm)	Bio* (ml/s)	G** (ml/s)	Total (ml/s)		
2,10	0,20	0,10	2,30	9,60	1,90	9,30	2,00	8,30	3,00	7,00	6,30	1,20	0,83	2,03	60	41
3,20	0,30	0,09	3,50	8,30	0,00	8,20	0,00	8,20	0,00	7,30	2,50	2,60	0,53	3,13	53	14
4,10	0,40	0,10	4,50	8,20	2,00	8,00	2,00	7,20	1,00	7,00	6,00	4,10	1,20	5,30	55	26
4,90	0,50	0,10	5,40	10,20	2,00	9,70	1,50	7,30	1,00	6,50	3,90	3,80	1,30	5,10	52	16
6,20	0,61	0,10	6,81	9,90	2,00	8,60	1,80	8,70	2,00	7,70	3,60	7,50	0,50	8,00	43	7
7,20	0,73	0,10	7,93	9,00	2,00	8,80	1,90	8,40	1,90	7,60	1,30	3,70	2,70	6,40	42	7

Ket:

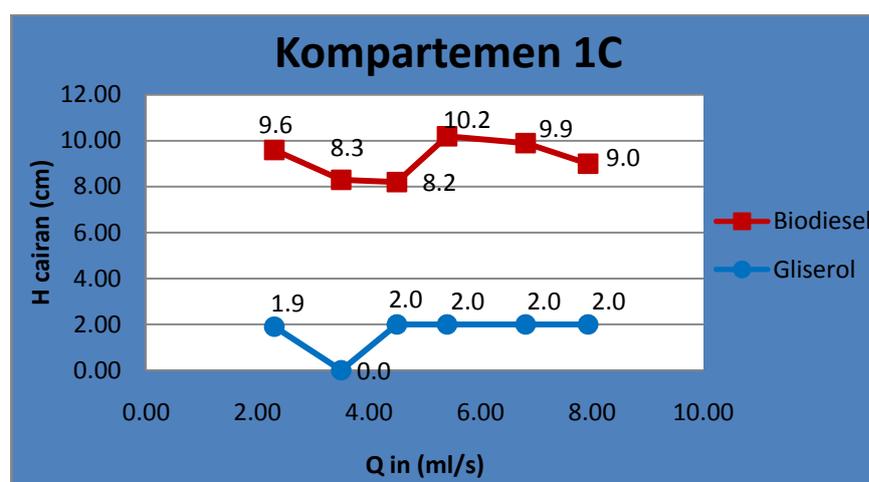
*Biodiesel

** Gliserol

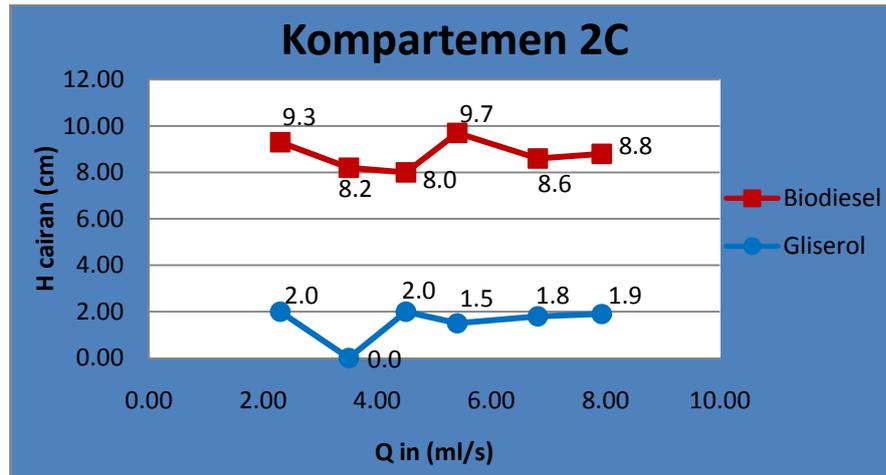
Secara garis besar, fenomena yang terjadi pada variasi yang ke tiga ini tidak jauh berbeda dengan dua variasi sebelumnya. Namun, ada beberapa hal yang perlu dicermati, yakni ketinggian biodiesel dan gliserol pada kompartemen satu dan dua yang hampir sama. Ketinggian biodiesel pada kompartemen satu berkisar antara 8,20 cm hingga 10,20 cm, dan pada kompartemen dua berkisar antara 8,20 cm hingga 9,70 cm. Ketinggian gliserol pada kedua kompartemen awal ini pun hampir sama. Dengan begitu dapat dikatakan bahwa ketinggian optimum untuk *baffle* pertama adalah sebesar 7 cm. Penambahan ketinggian *baffle* di atas 7 cm tidak akan memberikan pengaruh yang berarti.

Pada tabel 4.3. dapat dilihat bahwa variasi laju alir umpan yang digunakan berkisar antara 2,30 ml/s hingga 7,93 ml/s. Biodiesel dan gliserol sudah mulai memisah semenjak berada di kompartemen pertama. Pemisahan ini diindikasikan dari ketinggian biodiesel dan gliserol yang terlihat dan dapat diamati. Pada kompartemen satu ketinggian biodiesel ini berkisar antara 8,20 cm hingga 10,20 cm, pada kompartemen dua berkisar antara 8,20 cm hingga 9,70 cm, pada kompartemen tiga berkisar antara 7,20 cm hingga 8,70 cm, dan pada kompartemen empat berkisar antara 6,50 cm hingga 7,70 cm.

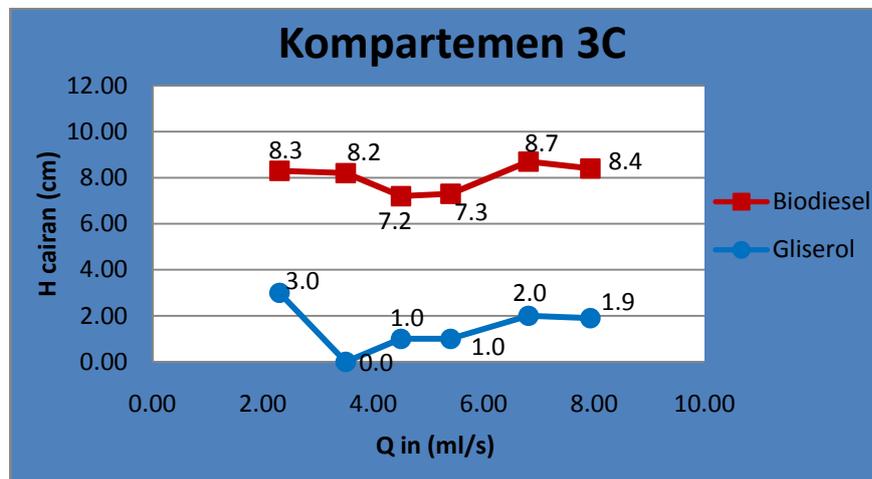
Profil gliserol pada variasi ke tiga ini juga agak berbeda dibandingkan dengan dua variasi sebelumnya. Untuk lebih jelasnya, profil ketinggian biodiesel dan gliserol pada masing-masing kompartemen dapat dilihat pada grafik berikut:



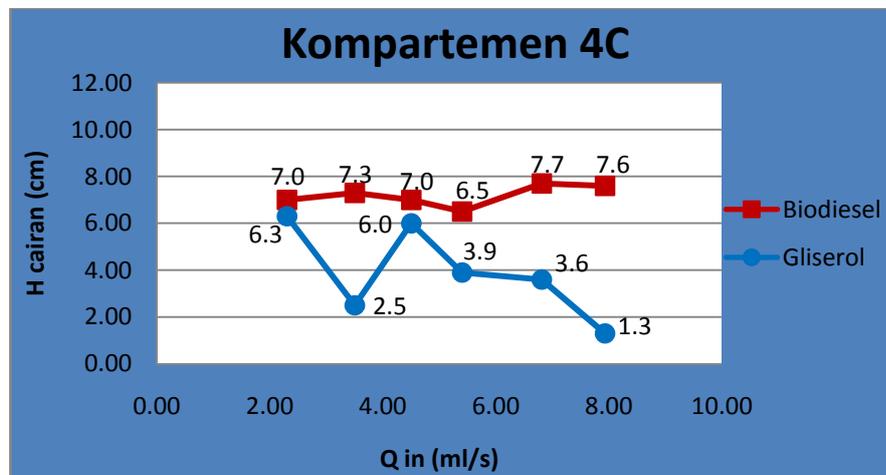
Gambar 4.13. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 1C



Gambar 4.14. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 2C



Gambar 4.15. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 3C

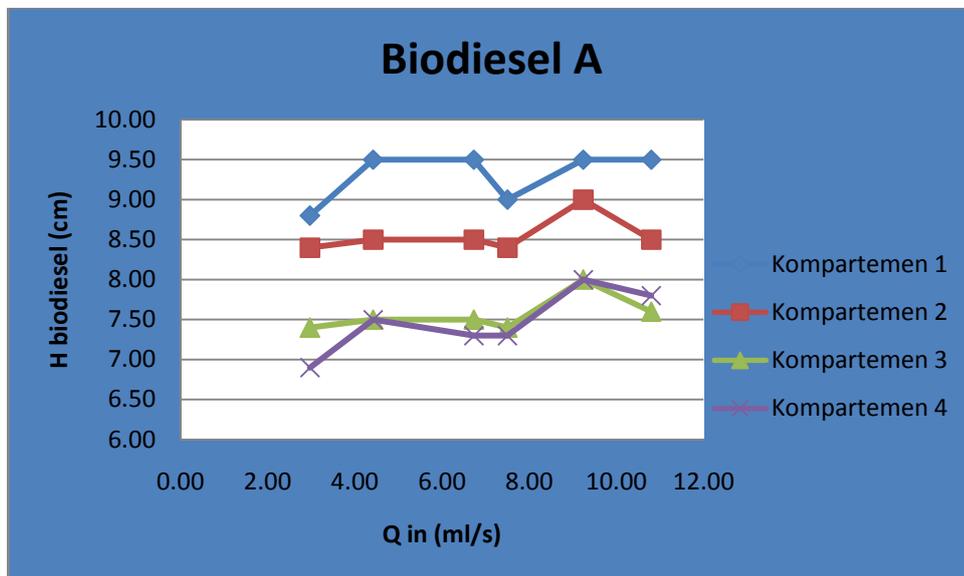


Gambar 4.16. Ketinggian Biodiesel dan Gliserol pada Kompartemen 4C

Ketinggian gliserol pada kompartemen pertama, ke dua, dan ke tiga tidak berbeda jauh, sehingga jarak antara biodiesel dan gliserol pada kompartemen pertama, ke dua, dan ke tiga tidak berbeda jauh pula. Barulah pada kompartemen ke empat, jarak antara biodiesel dan gliserol terlihat jelas mengecil. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi ketinggian *baffle* ini kurang optimum untuk desain separator ini.

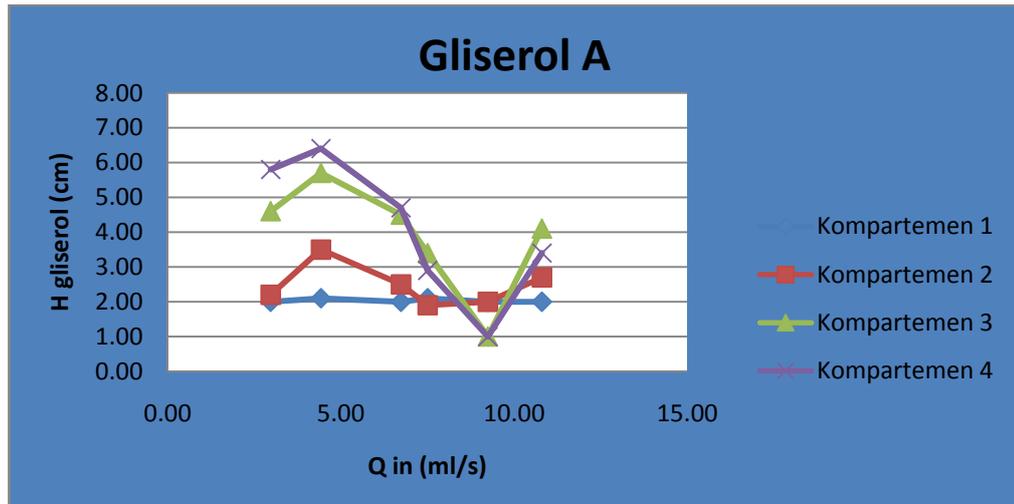
4.3. Analisis Ketinggian Biodiesel dan Gliserol secara Keseluruhan

Profil ketinggian biodiesel dan gliserol secara keseluruhan dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.17. Ketinggian Biodiesel pada Separator A dengan Ketinggian *Baffle* 7 ; 6 ; 5 cm

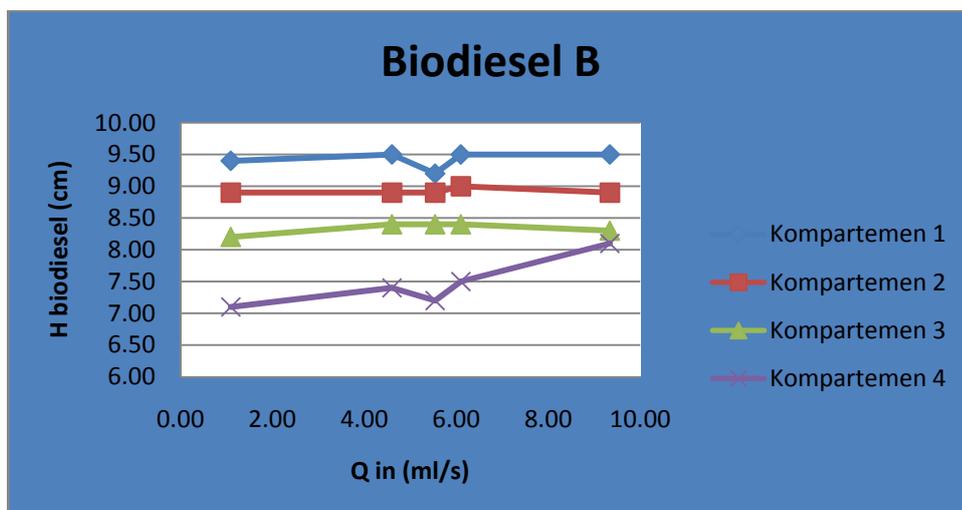
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, untuk separator A ketinggian biodiesel cenderung tetap pada tiap kompartemen untuk variasi laju alir yang berbeda. Sedangkan untuk ketinggian biodiesel antara kompartemen satu hingga kompartemen empat cenderung menurun, dengan kata lain ketinggian biodiesel pada kompartemen dua lebih rendah dibandingkan kompartemen satu, kompartemen tiga lebih rendah dibandingkan kompartemen dua, dan kompartemen empat lebih rendah dibandingkan kompartemen tiga.



Gambar 4.18. Ketinggian Gliserol pada Separator A dengan Ketinggian *Baffle* 7 ; 6 ; 5 cm

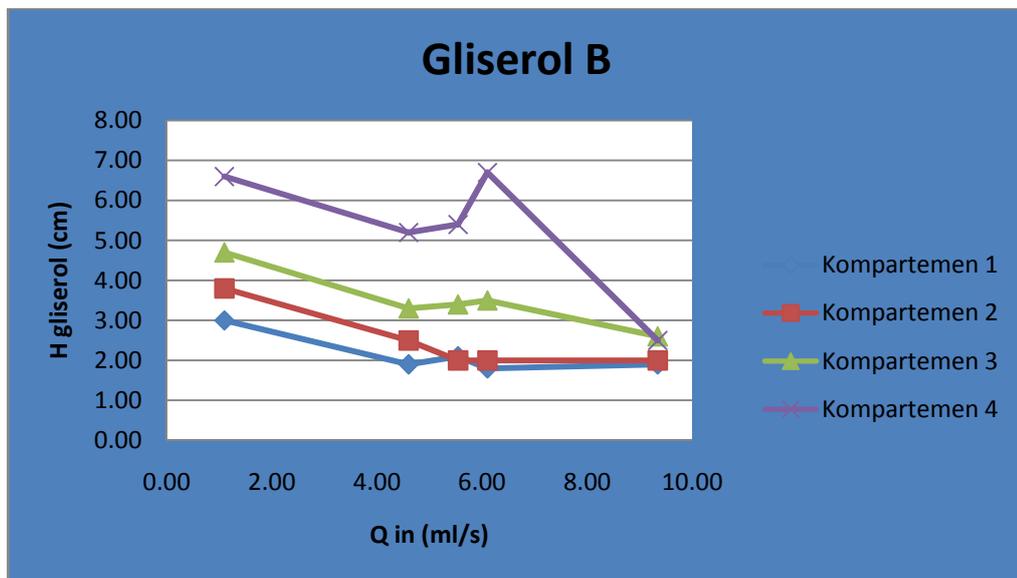
Grafik untuk gliserol cenderung menurun seiring dengan bertambahnya laju alir. Hal ini disebabkan oleh waktu tinggal yang semakin sedikit bila laju alirnya ditambah. Ketinggian biodiesel antara kompartemen satu hingga kompartemen empat justru berbanding terbalik dengan biodiesel. Semakin lama ketinggian gliserol semakin besar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya gliserol yang mengendap pada kompartemen, sehingga akumulasi gliserol pun semakin banyak.

Berikut profil ketinggian biodiesel dan gliserol pada separator B:



Gambar 4.19. Ketinggian Biodiesel pada Separator B dengan Ketinggian *Baffle* 7 ; 6,5 ; 6 cm

Sama halnya dengan separator A, ketinggian biodiesel cenderung tetap pada tiap kompartemen untuk variasi laju alir yang berbeda. Sedangkan untuk ketinggian biodiesel antara kompartemen satu hingga kompartemen empat cenderung menurun, dengan kata lain ketinggian biodiesel pada kompartemen dua lebih rendah dibandingkan kompartemen satu, kompartemen tiga lebih rendah dibandingkan kompartemen dua, dan kompartemen empat lebih rendah dibandingkan kompartemen tiga.

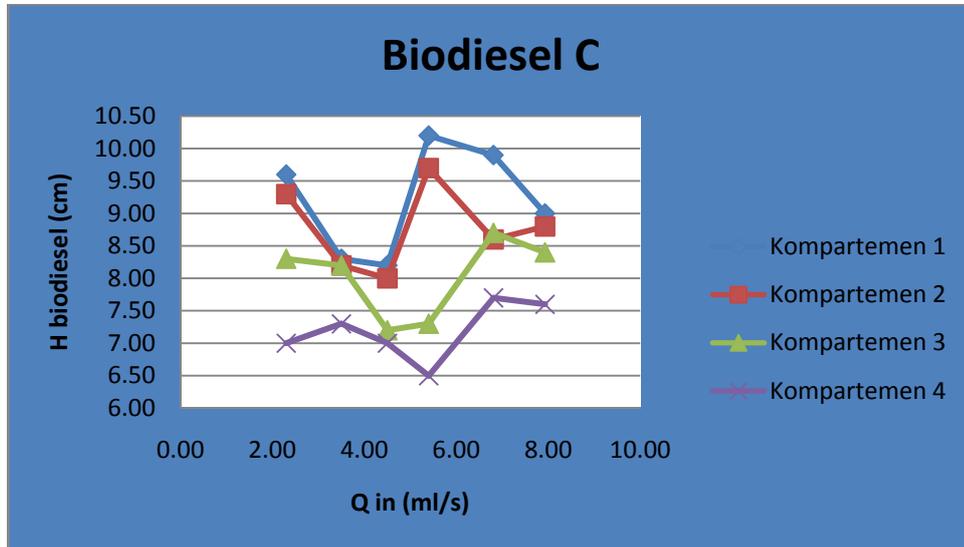


Gambar 4.20. Ketinggian Gliserol pada Separator B dengan Ketinggian *Baffle* 7 ; 6,5 ; 6 cm

Grafik untuk gliserol pun cenderung mirip dengan separator A. Ketinggian gliserol menurun seiring dengan bertambahnya laju alir. Hal ini disebabkan oleh waktu tinggal yang semakin sedikit bila laju alirnya ditambah. Ketinggian biodiesel antara kompartemen satu hingga kompartemen empat justru berbanding terbalik dengan biodiesel. Semakin lama ketinggian gliserol semakin besar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya gliserol yang mengendap pada kompartemen, sehingga akumulasi gliserol pun semakin banyak.

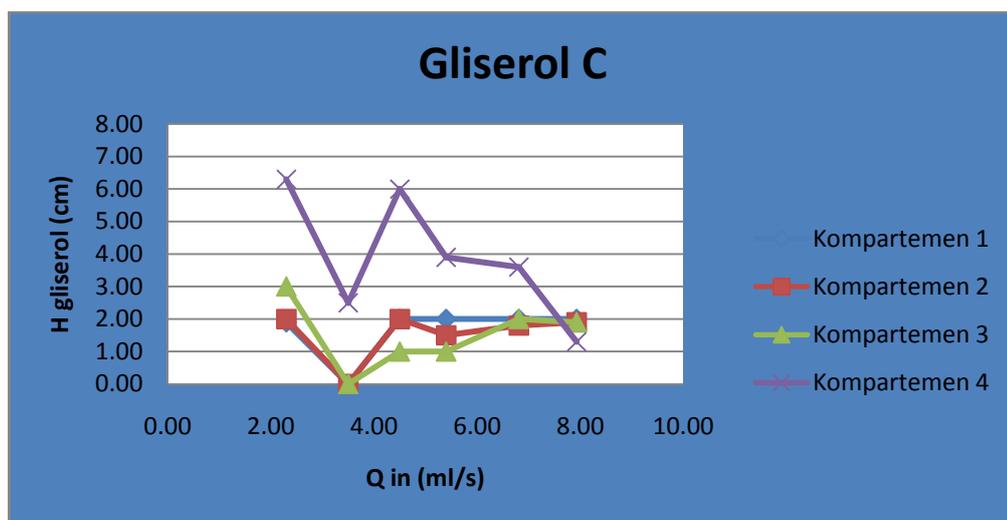
Secara garis besar grafik yang dihasilkan dari separator B ini cenderung lebih stabil dibandingkan dengan separator A. Untuk itu proses separasi campuran biodiesel-gliserol pada separator B lebih baik dibandingkan dengan separator A.

Berikut profil ketinggian biodiesel dan gliserol secara keseluruhan pada separator C:



Gambar 4.21. Ketinggian Biodiesel pada Separator C dengan Ketinggian *Baffle* 8 ; 7 ; 6 cm

Grafik ketinggian biodiesel pada separator C ini berbeda dibandingkan dengan dua separator sebelumnya. Grafik ketinggian biodiesel pada kompartemen satu dan dua cenderung bersinggungan, atau dengan kata lain ketinggian biodiesel pada kompartemen satu dan dua cenderung sama. Hal ini mengindikasikan bahwa pada ketinggian *baffle* 8 cm dan 7 cm tidak memberikan perbedaan yang berarti.



Gambar 4.22. Ketinggian Gliserol pada Separator C dengan Ketinggian *Baffle* 8 ; 7 ; 6 cm

Begitu pula halnya dengan ketinggian gliserol pada separator C. Grafik ketinggian gliserol pada kompartemen satu dan dua cenderung bersinggungan, dan grafik ketinggian gliserol pada kompartemen tiga tidak jauh berbeda dengan kompartemen satu dan dua. Barulah pada kompartemen ke empat, ketinggian gliserol jauh di atas ketiga kompartemen sebelumnya. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk separator C proses separasi yang terjadi kurang optimum bila dibandingkan dengan dua separator yang lain.

4.4. Perbandingan Pemisahan Biodiesel-Gliserol dan Biodiesel-Air

Desain separator untuk biodiesel-gliserol dan biodiesel-air cukup berbeda karena perbedaan densitas antara ketiga fluida tersebut. Biodiesel memiliki densitas sebesar 0,88 gr/ml, gliserol memiliki densitas sebesar 1,28 gr/ml, dan air memiliki densitas sebesar 1 gr/ml. Dapat dilihat bahwa biodiesel-gliserol memiliki perbedaan densitas yang lebih besar dibandingkan dengan biodiesel-air.

Berdasarkan Hukum Stokes, diketahui bahwa kecepatan pengendapan dipengaruhi oleh densitas dan viskositas.

$$w = \frac{2(\rho_p - \rho_f)gr^2}{9\mu} \quad (4.1)$$

Di mana:

w = kecepatan pengendapan

ρ = densitas (p subskrip dan f menunjukkan partikel dan cairan masing-masing)

g = percepatan karena gravitasi

r = jari-jari partikel

μ = viskositas fluida dinamis

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa kecepatan pengendapan sebanding dengan perbedaan densitas dan berbanding terbalik dengan viskositas. Meskipun biodiesel-gliserol memiliki perbedaan densitas yang lebih besar dibandingkan dengan biodiesel-air, namun nyatanya kecepatan pemisahan biodiesel-gliserol lebih lama dibandingkan biodiesel-air. Dengan kata lain, biodiesel-gliserol membutuhkan waktu yang lebih lama untuk memisah. Hal ini disebabkan oleh perbedaan viskositas antara gliserol dan air. Gliserol memiliki viskositas sebesar 1,5 Pa.s dan air memiliki viskositas yang lebih kecil, yakni sebesar $8,9 \times 10^{-4}$ Pa.s.

Kecepatan pengendapan berbanding terbalik dengan viskositas. Semakin besar viskositas, maka kecepatan pengendapan semakin kecil, akibatnya waktu yang dibutuhkan untuk mengendap pun semakin lama. Sebaliknya, semakin kecil viskositas, maka kecepatan pengendapan semakin besar, akibatnya waktu yang dibutuhkan untuk mengendap pun semakin cepat.

Kecepatan pengendapan biodiesel-gliserol yang lebih kecil di bandingkan dengan biodiesel-air menyebabkan waktu tinggal yang dibutuhkan oleh biodiesel-gliserol lebih lama. Untuk itu desain separator kontinyu untuk biodiesel-gliserol membutuhkan *baffle-baffle* untuk membuat waktu tinggal fluida dalam separator menjadi lebih lama sehingga kedua fluida dapat memisah dengan sempurna. Lain halnya dengan biodiesel-air, kedua fluida ini tidak membutuhkan waktu lama untuk memisah, sehingga desain separator yang digunakan sebaiknya tidak menggunakan *baffle*.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Desain separator biodiesel-gliserol membutuhkan *baffle* untuk memperbesar waktu tinggal, sehingga kedua fluida dapat memisah dengan sempurna.
2. Jumlah *baffle* yang dibutuhkan untuk desain separator ini adalah 3 buah.
3. Desain separator A (ketinggian *baffle* 7 cm : 6 cm : 5 cm), B (ketinggian *baffle* 7 cm : 6,5 cm : 6 cm), dan C (ketinggian *baffle* 8 cm : 7 cm : 6 cm) memiliki laju alir optimum untuk pemisahan sebesar 2 ml/s hingga 10 ml/s.
4. Separator B, dengan variasi ketinggian *baffle* 7 cm : 6,5 cm : 6 cm merupakan separator yang paling optimum untuk proses separasi biodiesel-gliserol.
5. Viskositas gliserol yang lebih besar dibandingkan dengan air menyebabkan biodiesel-gliserol membutuhkan waktu yang lebih lama untuk memisah dibandingkan dengan biodiesel-air.

5.2. Saran

1. Sebaiknya variasi desain separator yang digunakan lebih banyak sehingga profil pemisahan biodiesel-gliserol dapat diamati dengan lebih cermat.
2. Sebaiknya data penelitian yang diambil lebih banyak sehingga kesimpulan yang diambil dapat lebih akurat.

DAFTAR REFERENSI

- Ames, Randall S. (2007). *Continuous Flow Biodiesel Processor*. United States Patent Application Publication, US 2007/0175092 A1
- Budianto, Anwar. (2008). Metode Penentuan Koefisien Kekentalan Zat Cair dengan Menggunakan Regresi Linear Hukum Stokes. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta. <http://jurnal.sttn-batan.ac.id/wp-content/uploads/2008/12/12-anwar157-166.pdf>
- ESDM, (2011, Mei). Menteri ESDM Resmikan Biodiesel Fuel Plant di Site PT Adaro. Juni 7, 2011. <http://www.esdm.go.id/berita/migas/40-migas/4559-menteri-esdm-resmikan-biodiesel-fuel-plant-di-site-pt-adaro.html>
- Italtraco. Oil in Water Separation. Juni 10, 2011. <http://www.etna-usa.com/zertech.pdf>
- Lastella, Joseph P. (1995). *Continuous Flow Method and Apparatus for Making Biodiesel Fuel*. United States Patent Application Publication, US 2005/0081435 A1
- Nasikin, dkk.. (2010). Intensifikasi dan Integrasi Proses Produksi Berbagai Produk Hilir Kelapa Sawit untuk Mempercepat Komersialisasi Produk. Laporan Akhir Riset Program Hibah Kompetitif Penelitian Unggulan Strategis Nasional Tahun 2010.
- Nevers, Noel de. (1991). *Fluid Mechanics for Chemical Engineers* 2nd Ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

Rahayu, Suparni Setyowati. (2009, September). Industri Biodiesel. Juni 7, 2011. http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-industri/teknologi-proses/industri-biodiesel/

Zulfikar. (2010, November). Gliserol. April 20, 2011. http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-kesehatan/biomolekul/gliserol/

Lampiran 1 : Gambar Alat



Tampak Depan



Tampak Belakang