



PENINGKATAN DAN PEMANFAATAN BIOFUEL

TAHUN ANGGARAN 2020

**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
BADAN LITBANG ENERGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
PPPTMGB "LEMIGAS"**

Jakarta, Oktober 2020



A. IMPLEMENTASI PEMANFAATAN BAHAN BAKAR B-40/50 PADA KENDARAAN BERMESIN DIESEL

TAHUN ANGGARAN 2020

**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
BADAN LITBANG ENERGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
PPPTMGB "LEMIGAS"**

Jakarta, Oktober 2020

TIM PELAKSANA

Kegiatan ini melibatkan seluruh peneliti di lingkungan KPPP Teknologi Aplikasi Produk, PPPTMGB "LEMIGAS" . Dalam melakukan kegiatan tim akan dibantu oleh narasumber yang terdiri dari para pakar di bidang energi, bahan bakar minyak dan gas, dan bahan bakar alternatif. Kegiatan ini dalam pelaksanaannya akan bekerja sama dengan BPDPKS, PT Pertamina (Persero), Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Perguruan Tinggi, APROBI, dan GAIKINDO.

RINGKASAN EKSEKUTIF

1. Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015, pemerintah Indonesia telah menetapkan kewajiban penggunaan bahan bakar biodiesel sebagai campuran minyak solar untuk mesin diesel. Saat ini mandatori penggunaan BBN telah mencapai pencampuran minimal biodiesel sebesar 20% atau B-20. Penggunaan B-20 di seluruh sektor secara resmi diwajibkan Pemerintah melalui Peraturan Presiden No.66 tahun 2018 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Presiden No.61 tahun 2015 tentang Penghimpunan dan Penggunaan Dana Perkebunan Kelapa Sawit yang berlaku mulai 1 September 2018. Pada tahun 2020, mandatori pencampuran biodiesel ditargetkan minimal 30% atau B-30. Dengan kewajiban penggunaan biodiesel tersebut yang terus meningkat, pengembangan biodiesel (B-100) menjadi mutlak diperlukan untuk mempercepat pengembangan energi baru dan terbarukan. Saat ini pemerintah Indonesia mengatur Standar dan Mutu (Spesifikasi) Biodiesel berdasarkan SK Dirjen EBTKE Nomor 189.K/10/DJE Tahun 2019.

Penggunaan biodiesel 50% (B-40/50) sebagai bahan bakar untuk mesin diesel juga dapat dilakukan sebagai upaya percepatan dalam pemanfaatan BBN. Oleh karena itu, dalam mendukung implementasi B-40/50 untuk mesin diesel dibutuhkan kajian teknis terkait aspek kualitas bahan bakar dan unjuk kinerja mesin. Selain itu, pengujian tersebut juga dibutuhkan untuk mengevaluasi kesesuaian produk B-40/50 dengan spesifikasi yang ditetapkan sehingga didapatkan rekomendasi teknis untuk diterapkan pada mesin diesel. Pengujian kualitas dan mutu produk B-40/50 meliputi sifat fisika-kimia bahan bakar dibandingkan dengan Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar campuran biodiesel 30% (B-30) sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 0234.K/10/DJM.S/2019 serta beberapa parameter tambahan sebagai pengembangan spesifikasi biodiesel 50%. pengujian unjuk kerja bahan bakar dilakukan untuk menganalisa performa mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang, dengan *engine test bench*. Selain pengujian, juga perlu dilakukan sosialisasi mengenai implementasi pemanfaatan B-40/50 sebagai bahan bakar pada kendaraan bermesin diesel untuk memberikan informasi mengenai sifat dari bahan bakar B-40/50.

Salah satu keluhan yang paling sering dilaporkan dari implementasi Biodiesel B30 adalah terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar. Penyebab utama dari

akumulasi deposit pada filter tersebut adalah kandungan impurities monogliserida. Untuk dapat diimplementasikan dengan kadar lebih tinggi, spesifikasi kandungan monogliserida harus diturunkan dari angka 0.55% saat ini. Upaya penurunan kadar monogliserida dapat dilakukan dengan memperbaiki proses konversi untuk mendorong reaksi yang lebih sempurna. Proses pemisahan sekunder dapat ditambahkan pada proses eksisting. Proses pemisahan yang dapat diterapkan antara lain distilasi, kristalisasi, dan sentrifugasi. Pada penelitian ini akan dilakukan investigasi mengenai perbaikan proses dan pemisahan skala laboratorium dengan sasaran menurunkan kadar monogliserida sebesar 0.3%. Hasil penelitian ini dapat dijadikan rekomendasi bagi pemerintah dalam penetapan spesifikasi biodiesel, sekaligus rekomendasi bagi industri biodiesel.

2. Metodologi

Kegiatan yang akan dilaksanakan dalam pengujian ini mencakup hal-hal sebagai berikut:

- a. Penyediaan sampel Minyak Solar 48, Minyak Solar 51, dan Biodiesel (B-100) oleh pihak PT Pertamina (Persero).
- b. Pengujian karakteristik fisika-kimia Biodiesel sesuai SK Dirjen EBTKE No. 189 Tahun 2019 serta beberapa parameter tambahan sebagai pengembangan spesifikasi Biodiesel (*caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*).
- c. Pengujian karakteristik fisika-kimia Minyak Solar 48 (B-0) sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016 dengan beberapa tambahan parameter yaitu *Caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.
- d. Pengujian karakteristik fisika-kimia Minyak Solar 51 (B-0) sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 3675 K/24/DJM/2006 dengan beberapa tambahan parameter yaitu *Caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.
- e. Pengujian karakteristik fisika-kimia B-30 dan variasi formula bahan bakar uji dari Minyak Solar 48 sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 0234.K/10/DJM.S/2019 dengan beberapa tambahan parameter yaitu *Caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.
- f. Pengujian stabilitas penyimpanan bahan bakar hasil evaluasi awal yaitu 3 bahan bakar hasil formulasi dan reference pada campuran minyak solar 48, dan 2 formulasi campuran pada minyak solar 51 dilakukan pada tangki

penyimpanan bahan bakar dengan kondisi lingkungan terbuka dan waktu penyimpanan 1 bulan. Parameter uji stabilitas penyimpanan meliputi sifat fisika-kimia yang dapat berubah selama penyimpanan dan mempengaruhi kualitas dari produk bahan bakar sesuai Tabel 6. Pengujian lengkap bahan bakar dilakukan pada hari pertama dan hari terakhir, periode pengujian dilakukan setiap 2 hari selama 10 hari pertama dilanjutkan setiap 5 hari selama 30 hari penyimpanan sebanyak 8 kali

- g. Uji presipitasi dilakukan pada bahan bakar B-40/50 dengan metode acuan ASTM D 7501 (Metode Uji Standar untuk Penentuan Potensi Pemblokiran Filter Bahan Bakar) dengan modifikasi waktu dan temperatur perendaman (*cold soaking*) dan penentuan potensi pemblokiran filter dengan perhitungan presipitat.
- h. Pengujian Unjuk Kinerja Mesin pada *Chassis Dynamometer* untuk bahan bakar B-30, B-40, dan B-50 untuk mendapatkan data daya mesin, torsi mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi opasitas dari gas buang yang kemudian dibandingkan dengan bahan bakar B-30 sebagai bahan bakar *reference*. Pengujian kinerja dilakukan dengan menggunakan *Lemigas in House Test Methode* untuk mendapatkan daya dan torsi Mesin. Untuk pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan SNI 7554 Tahun 2010 yang mengacu juga pada UN ECE R 84 melalui metode pengujian siklus urban dan pengujian pada tiap kecepatan serta putaran mesin. Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan labu ukur dan *stopwatch*. Pengukuran dilakukan secara manual dengan pemakaian bahan bakar sebanyak 100 ml (0,1 L). Pengujian emisi gas buang dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri LH Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan diatas Tahun 2010 yang mengacu pada SNI 19-7118.1-2005.

3. Pengaruh B-40/50 Terhadap Karakteristik Bahan Bakar

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif untuk mesin diesel dengan karakteristik yang menyerupai minyak solar. Penggunaan biodiesel pada

umumnya dapat diterapkan pada mesin diesel tanpa perubahan modifikasi mesin yang signifikan. Implementasi biodiesel menjadi salah satu program strategis untuk menurunkan 26% emisi gas rumah kaca pada Tahun 2020. Secara umum biodiesel memiliki karakteristik angka setana, berat jenis, viskositas kinematik, sifat pelumasan yang lebih tinggi dibandingkan minyak solar. Selain itu, biodiesel memiliki kandungan sulfur yang sangat rendah sehingga mendukung program penggunaan bahan bakar bebas sulfur, serta dapat diterapkan untuk menurunkan kandungan sulfur pada minyak solar. Di sisi lain, biodiesel mengandung pengotor yang berasal dari sifat alamiahnya sebagai bahan bakar nabati. Selain komponen utama ester metil, biodiesel berpotensi mengandung kandungan monogliserida dan gliserol sebagai komponen pengotor pada transesterifikasi dan pemurnian biodiesel. Keberadaan senyawa tak jenuh dengan ikatan rangkap juga menyebabkan stabilitas oksidasi biodiesel lebih rendah dibandingkan minyak solar. Selain itu, sifat higroskopis biodiesel juga rentan menyebabkan peningkatan kandungan air pada bahan bakar campuran minyak solar-biodiesel. Karakteristik dan sifat fisika-kimia tersebut dianalisis sehingga dapat memperkirakan nilai capaian biodiesel pada campuran minyak solar B-40/50.

Tabel 1. Karakteristik Bahan Bakar B-40/50 dibandingkan dengan B-30 dan B-0

No	Parameter Uji	Unit	HASIL UJI				Metode Uji
			B-0	B-30	B-40	B-50	
1	Angka Setana	-	49.1	52.4	53.6	54.7	ASTM D 613
2	Berat Jenis suhu 15°C	kg/m ³	841.9	853.4	857.1	860.7	ASTM D 4052 / D 1298
3	Viskositas suhu 40°C	cSt	2.43	3.13	3.25	3.55	ASTM D 445
4	Kandungan Sulfur	ppm	1200	910	820	750	ASTM D 4294 / D5453
5	Distilasi 90% Vol Penguapan	°C	344.8	346.1	351.4	355.6	ASTM D 86
6	Titik Nyala	°C	66	82	88	92	ASTM D 93
7	Titik Tuang	°C	6	9	12	12	ASTM D 97
8	Titik Kabut	°C	9.3	10.7	11.3	11.7	ASTM D 2500
9	Residu Karbon	% m/m	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	ASTM D 189
10	Kandungan Air	ppm	113.7	181.90	211.70	238.90	ASTM D 6304
11	Kandungan FAME	% v/v	0	30	40.1	50.2	ASTM D 7806 / D 7371
12	Korosi Bilah Tembaga	-	1a	1a	1a	1a	ASTM D 130
13	Kandungan Abu	% m/m	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	ASTM D 482
14	Kandungan Sedimen	% m/m	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	ASTM D 473
15	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	0	0	0	0	ASTM D 664
16	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	0.09	0.16	0.20	0.22	ASTM D 664
17	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Visual
18	Warna	No. ASTM	2.7	2.2	2	0.6	ASTM D 1500
19	Lubrisitas HFRR	micron	333.5	319.5	298	277.5	ASTM D 6079
20	Stabilitas Oksidasi	Jam	> 180	58.7	51.3	49.7	EN 15751

KELOMPOK BAHAN BAKAR DAN AVIASI

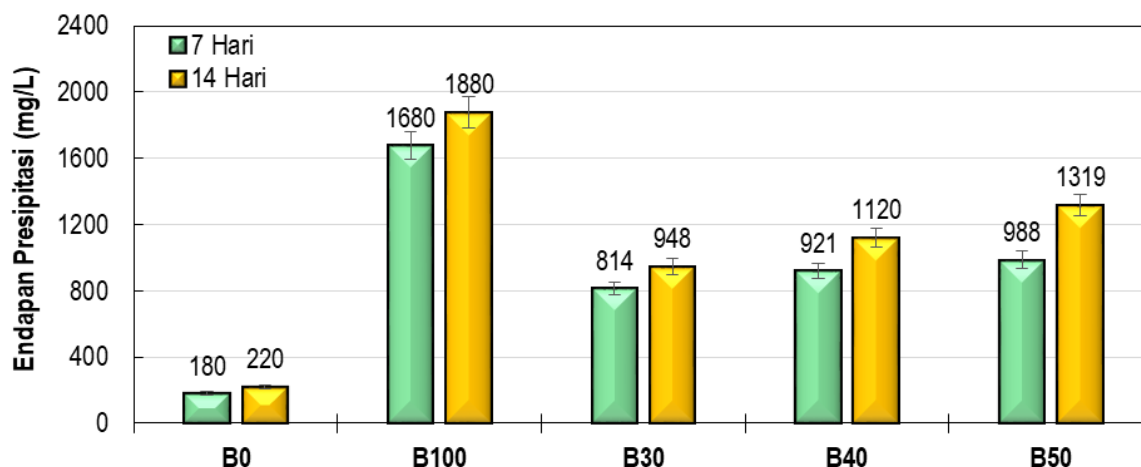
KELOMPOK PELAKSANA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI APLIKASI PRODUK
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINYAK DAN GAS BUMI "LEMIGAS"

Hasil pengujian karakteristik bahan bakar B-40/50 menunjukkan peningkatan angka setana, berat jenis, viskositas kinematik, distilasi pada 90% vol. penguapan, titik nyala, kandungan air, dan bilangan asam total seiring peningkatan campuran biodiesel pada minyak solar. Selain itu, terjadi penurunan stabilitas oksidasi dan *cold-flow properties*, meliputi titik tuang dan titik kabut, seiring peningkatan konsentrasi biodiesel yang digunakan. Hasil pengujian stabilitas penyimpanan bahan bakar B-40 dan B-50 menunjukkan bahan bakar stabil selama penyimpanan 30 hari.

Parameter Uji	Stabilitas Penyimpanan (30 Hari)	
	B-40	B-50
Kandungan Air	Stabil	Stabil
Angka Asam	Stabil	Stabil
Viskositas Kinematik	Stabil	Stabil
Stabilitas Oksidasi	Stabil	Stabil

4. Potensi Presipitasi B-40/50 Untuk Perbaikan Batasan Mutu Monogliserida Pada Biodiesel

Potensi presipitasi bahan bakar B-40/50 dianalisis pada temperatur rendah. Kondisi temperatur yang digunakan sebesar 15 °C dengan waktu presipitasi yang dilakukan adalah 7 hari dan 14 hari. Hasil pengujian presipitasi bahan bakar B40 dan B50 dibandingkan dengan bahan bakar B30 dan B0 ditunjukkan pada Gambar. Berdasarkan gambar tersebut, seiring meningkatnya waktu pengkondisian, maka endapan presipitasi yang dihasilkan semakin meningkat. Selama 7 hari pengkondisian, B0 menghasilkan endapan presipitasi sebesar 180 ppm. Pengkondisian 14 hari menyebabkan peningkatan endapan presipitasi B0 menjadi 220 ppm. Sementara itu, B100 memiliki presipitasi antara 1680 hingga 1880 seiring waktu pengkondisian hingga 14 hari.



Gambar 1. Endapan Presipitasi Bahan Bakar pada Temperatur 15 °C selama 7 dan 14 Hari

Peningkatan konsentrasi biodiesel pada minyak solar, menyebabkan peningkatan endapan presipitasi yang terbentuk. B30 menghasilkan endapan presipitasi sebesar 814 ppm pada pengkondisian 7 hari dan 948 ppm pada pengkondisian 14 hari. Sementara itu B40 menghasilkan endapan presipitasi sebesar 921 ppm pada pengkondisian 7 hari dan 1120 ppm pada pengkondisian 14 hari. Begitu pula dengan B50 yang mengandung endapan presipitasi sebesar 988 ppm (7 hari) dan 1319 ppm (14 hari). Secara berurutan, endapan presipitasi yang dihasilkan $B30 < B40 < B50$.

Presipitasi	Regresi Linier			
	(Y: endapan presipitasi; X: kandungan monogliserida dalam Bxx)	R ²	Nilai F	Prob>F
7 Hari	$Y = 279.7 + 3446.5X$	0.9884	127.16	0.0015
14 Hari	$Y = 388.1 + 3838.3X$	0.9750	57.85	0.0047

Beberapa penelitian sebelumnya mengkonfirmasi bahwa kandungan monogliserida jenuh menjadi penyebab permasalahan teknis terkait penyumbatan pada filter bahan bakar. Perbaikan batasan mutu kandungan monogliserida menjadi salah satu rekomendasi dalam menyusun spesifikasi biodiesel untuk implementasi B-30, sebelumnya. Kajian ini juga membuktikan, semakin tinggi kandungan biodiesel yang dicampurkan, menghasilkan endapan presipitasi yang semakin tinggi. Hasil analisis varians (ANOVA) menunjukkan kandungan monogliserida berpengaruh

signifikan terhadap endapan presipitasi yang dihasilkan. Presipitasi selama 7 hari dan 14 hari menunjukkan lebih dari 97.5% keragaman endapan presipitasi bahan bakar minyak solar-biodiesel dipengaruhi kandungan monogliserida. Oleh karena itu, salah satu pertimbangan dalam implementasi campuran biodiesel lebih dari 30% adalah melakukan perbaikan spesifikasi biodiesel khususnya untuk kandungan monogliserida. Batasan mutu maksimum kandungan monogliserida dalam biodiesel yang diusulkan adalah 0.32-0,41 %-massa (untuk implementasi B-40) dan 0,25-0,33 %-massa (untuk implementasi B-50)

Biodiesel dalam Minyak Solar (Bxx)	Monogliserida (MG) dalam Bxx (%-massa)	
	MG B100 = 0.42	MG B100 = 0.55
30%	0.126	0.165
40%	0.168	0.220
50%	0.210	0.275
	Usulan Batasan Monogliserida dalam B100 (%-massa)	
40%	0.315	0.412
50%	0.252	0.330

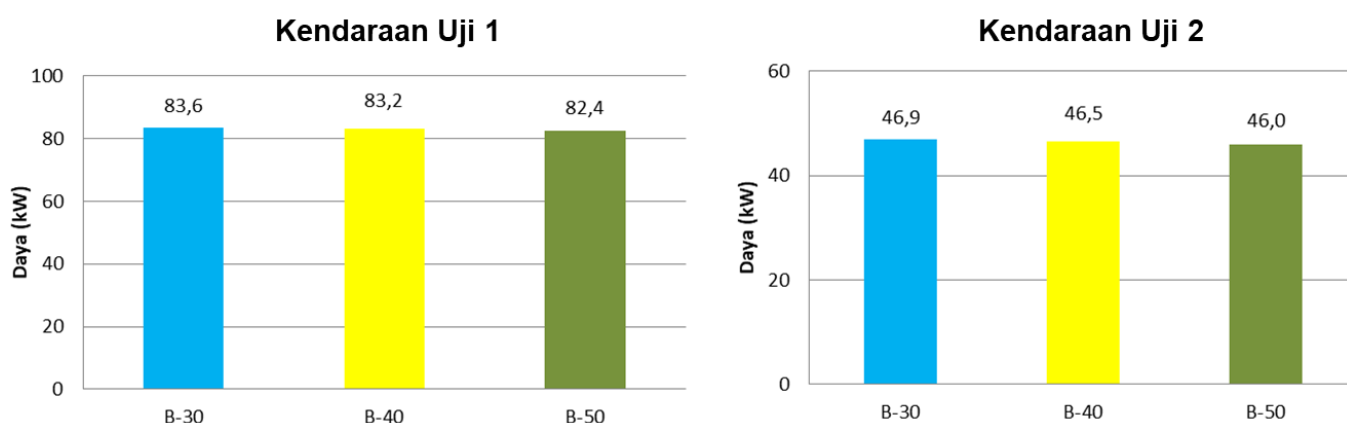
Parameter Kinerja Mesin	Selisih (%) dibandingkan dengan B-30			
	Kendaraan Uji 1		Kendaraan Uji 2	
	B-40	B-50	B-40	B-50
Daya Maksimum	-0,47	-1,43	-0,85	-1,91
Torsi	-0,99	-1,81	-0,87	-2,04
Konsumsi Bahan Bakar	+1,44	+2,92	+1,03	+3,09
Opasitas Gas Buang	-4,13	-7,43	-4,60	-10,52

Hasil pengujian kinerja mesin meliputi daya maksimum, torsi, konsumsi bahan bakar, dan opasitas gas buang melalui *chassis dynamometer* dilakukan pada bahan bakar B-40 dan B-50 dan dibandingkan dengan B-30. Pengujian dilakukan pada dua jenis kendaraan uji. Penggunaan bahan bakar B-40 dan B-50 menyebabkan

penurunan daya maksimum dan torsi dibandingkan dengan B-30. Besarnya penurunan tersebut bergantung pada jenis teknologi mesin yang digunakan pada unit kendaraan. Sifat alamiah dari biodiesel yang memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan minyak solar menyebabkan penurunan daya maksimum dan torsi yang dihasilkan, seiring peningkatan campuran biodiesel yang digunakan.

Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan bahan bakar B-40 dan B-50 dibandingkan dengan B-30, menunjukkan peningkatan 1% hingga 3%. Hal tersebut terkonfirmasi oleh nilai kalor yang dihasilkan bahan bakar B-40 dan B-50 yang lebih rendah dibandingkan B-30. Hal tersebut juga sejalan dengan penurunan daya maksimum dan torsi yang dihasilkan. Tentunya hal tersebut menjadi permasalahan teknis yang utama terkait dengan implementasi penggunaan campuran biodiesel lebih dari 30% pada aspek kinerja mesin. Penurunan daya hingga peningkatan konsumsi bahan bakar menjadi tantangan utama dalam implementasi B-40 dan B-50 dengan lingkup sektor yang berbeda-beda. Beberapa solusi yang dapat diterapkan antara lain menggunakan komponen campuran bahan bakar nabati sejenis dengan nilai kalor yang lebih tinggi serta memodifikasi dan menyesuaikan teknologi mesin.

5. Pengaruh B-40/50 Terhadap Kinerja Mesin

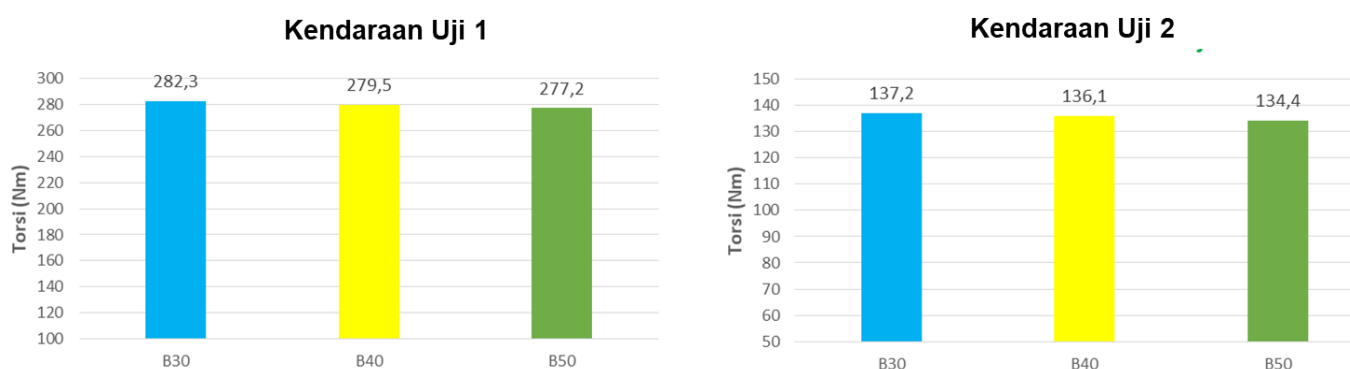


Gambar 2. Hasil Pengukuran Daya Maksimum

Hasil pengukuran daya penuh untuk kendaraan uji 1 menunjukkan dengan bahan bakar B30 didapatkan daya maksimum sebesar 83,6kW. Bahan bakar B40 menunjukkan daya maksimum sebesar 83,2 kW. Sementara itu, bahan bakar B50 menghasilkan daya maksimum sebesar 82,4 kW. Jika dibandingkan dengan bahan

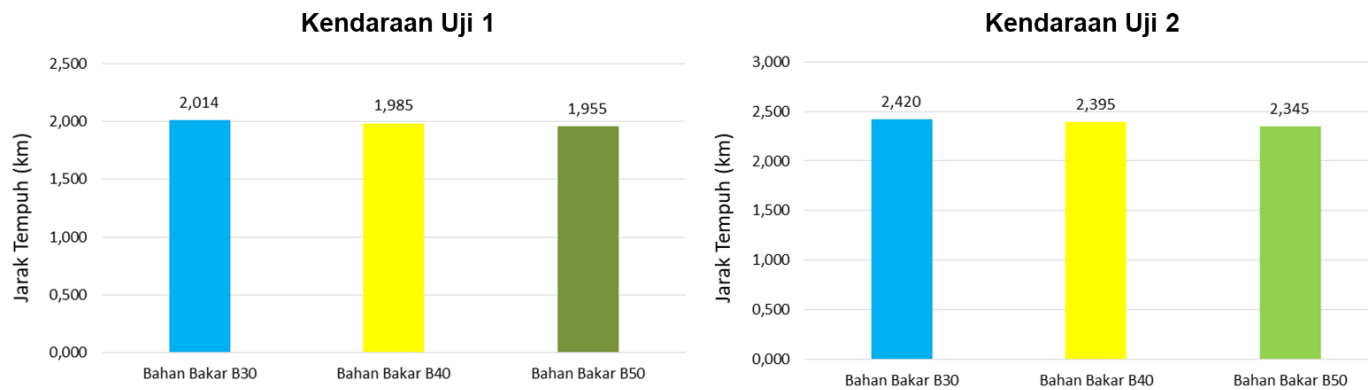
bakar B30, penggunaan bahan bakar B40 mengakibatkan terjadinya penurunan daya maksimum sampai 0,47% dan penggunaan bahan bakar B50 dapat mengakibatkan penurunan daya maksimum sampai 1,43%.

Hasil pengukuran daya dari kendaraan uji 2 menunjukkan bahan bakar B30 mencapai daya maksimum pada 46,9kW. Bahan bakar B40 menghasilkan daya penuh sebesar 46,5kW, sedangkan bahan bakar B50 menghasilkan daya penuh sebesar 46,0kW. Dengan membandingkan hasil daya maksimum yang didapatkan pada kendaraan uji 2 dengan B30, penggunaan B40 membuat daya maksimum mesin turun sampai 0,85%, sedangkan penggunaan bahan bakar B50 membuat daya maksimum mesin turun sampai 1,91%. Hal ini dimungkinkan karena nilai kalor dari bahan bakar B40 dan B50 lebih rendah jika dibandingkan nilai kalor dari bahan bakar B30.



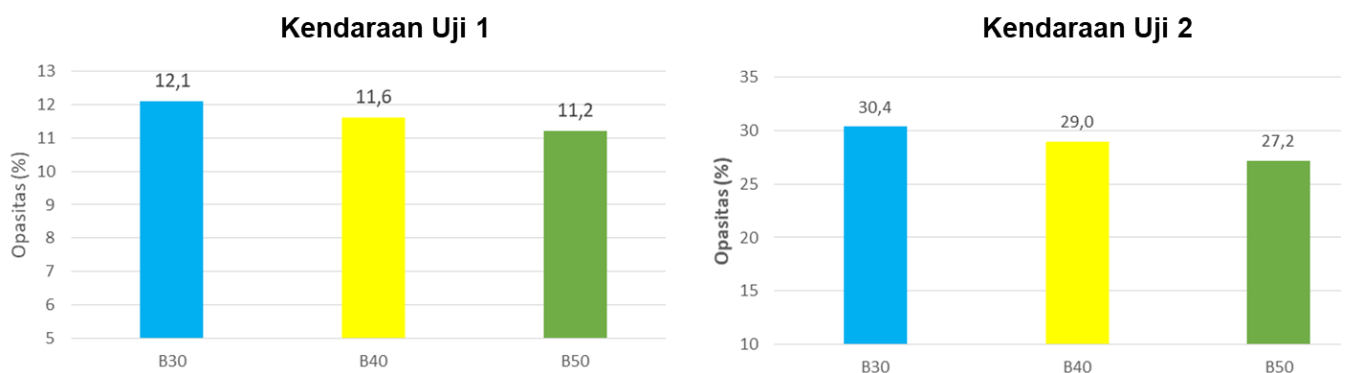
Gambar 3. Hasil Pengukuran Torsi

Secara umum, penggunaan bahan bakar B40 dan B50 pada kendaraan uji 1 dan 2 mengalami penurunan dibandingkan dengan bahan bakar B30. Penggunaan bahan bakar B40 dan B50 pada kendaraan mesin uji 1 menghasilkan penurunan torsi antara 0,99% hingga 1,81%. Sementara itu, torsi maksimum kendaraan uji 2 mengalami penurunan hingga 0,87% untuk penggunaan B40 dan 2,04% untuk penggunaan B50.



Gambar 4 Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar

Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar untuk kendaraan uji 1 menunjukkan jarak tempuh yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar B-50 dalam 100 ml mengalami penurunan hingga 2,92% dibandingkan bahan bakar B-30. Sedangkan jarak tempuh yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar B40 dalam 100 mL mengalami penurunan sebesar 1,44%. Jarak tempuh yang dihasilkan oleh kendaraan uji 2 dengan bahan bakar B50 mengalami penurunan hingga 3,09% dibandingkan bahan bakar B-30. Sedangkan untuk jarak tempuh kendaraan uji 2 dengan bahan bakar B40 mengalami penurunan sebesar 1,03%. Penurunan konsumsi bahan bakar ini dikarenakan daya dari penggunaan bahan bakar B40 dan B50 lebih kecil dibandingkan dengan daya bahan bakar B30 pada kendaraan uji 2, sehingga untuk mencapai jarak tempuh yang sama, bahan bakar B40 dan B50 membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dari pada B30.



Gambar 5. Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang

Penurunan nilai opasitas penggunaan bahan bakar B40 dan B50 pada kendaraan uji 1 sebesar 4,13% dan 7,43% jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar B30. Nilai emisi opasitas gas buang kendaraan uji 2 dengan bahan bakar

B40 mengalami penurunan sebesar 4,6% jika dibandingkan dengan nilai opasitas dari penggunaan bahan bakar B30. Sedangkan penggunaan bahan bakar B50 pada kendaraan uji 2 menghasilkan penurunan nilai opasitas sebesar 10,52% jika dibandingkan dengan nilai opasitas bahan bakar B30. Perbaikan nilai emisi opasitas gas buang ini disebabkan oleh nilai angka setana yang lebih tinggi dari B40 dan B50 sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dibandingkan bahan bakar B30. Pembakaran yang lebih sempurna menyebabkan penurunan kepekatan asap yang digambarkan dengan nilai opasitas.

6. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, penggunaan campuran biodiesel lebih dari 30% sangat tepat diterapkan dalam percepatan pemanfaatan bahan bakar nabati di Indonesia. Berkaitan dengan aspek teknis, peningkatan penggunaan biodiesel menjadi B-40 dan B-50 mempengaruhi karakteristik bahan bakar, potensi presipitasi bahan bakar, hingga kinerja mesin. Penggunaan B-40 dan B-50 menghasilkan bahan bakar minyak solar dengan angka setana, berat jenis, viskositas kinematik, dan sifat pelumasan yang lebih tinggi. Selain itu, B-40 dan B-50 juga dapat menghasilkan bahan bakar minyak solar dengan kandungan sulfur yang rendah. Di sisi lain, kandungan monogliserida dan ester metil jenuh dalam biodiesel menyebabkan peningkatan potensi presipitasi pada B-40 dan B-50. Potensi presipitasi pada B-40 meningkat menjadi 13-21% dan pada B-50 meningkat sebesar 18-39%, dibandingkan dengan B-30. Sifat alamiah biodiesel dengan nilai kalor yang lebih rendah, menghasilkan penurunan nilai kalor pada B-40 dan B-50, dibandingkan dengan B-30. Penurunan nilai kalor tersebut menyebabkan penurunan daya maksimum sebesar 0,50-0,85% (B-40) dan 1,4-1,9% (B-50), dibandingkan dengan B-30. Konsumsi bahan bakar juga diprediksi meningkat sebesar 1,0-1,5% (B-40) dan 3% (B-50) dibandingkan dengan B-30.

Berdasarkan kesimpulan di atas, Tim merekomendasikan beberapa hal sebagai berikut:

Pengembangan Standar dan Mutu Biodiesel

Pengembangan standar dan mutu biodiesel dilakukan untuk meminimalisir efek penggunaan campuran biodiesel dengan konsentrasi tinggi (lebih dari 30%).

Beberapa parameter untuk disesuaikan kembali antara lain: kandungan air, bilangan asam total, stabilitas oksidasi, dan kandungan monogliserida.

Perumusan Standar dan Mutu B-40 dan/atau B-50

Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak solar yang beredar saat ini adalah B-30. Dalam hal implementasi B-40 dan B-50 tentunya perlu dirumuskan kembali spesifikasi untuk bahan bakar tersebut. Merujuk dari hasil karakterisasi bahan bakar, beberapa spesifikasi yang disesuaikan meliputi parameter angka setana, viskositas kinematik, kandungan sulfur, kandungan air, bilangan asam total, dan stabilitas oksidasi.

Perbaikan Batasan Mutu Monogliserida pada Spesifikasi Biodiesel

Batasan mutu maksimum kandungan monogliserida dalam biodiesel yang diusulkan adalah 0,32-0,41 %-massa (untuk implementasi B-40) dan 0,25-0,33 %-massa (untuk implementasi B-50).

Sosialisasi kepada Pabrikasi Mesin terkait Pengaruh B-40 dan B-50 terhadap Daya Mesin

Batasan mutu maksimum kandungan monogliserida dalam biodiesel yang diusulkan adalah 0,32-0,41 %-massa (untuk implementasi B-40) dan 0,25-0,33 %-massa (untuk implementasi B-50).

KATA PENGANTAR

Kami ucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terselesainya laporan penelitian ini sebagai pertanggungjawaban dari kegiatan penelitian dan pengembangan dalam bidang minyak dan gas bumi di lingkungan PPPTMGB "LEMIGAS". Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada seluruh anggota Tim Peneliti, Ketua Kelompok Bahan Bakar Minyak dan Gas, Koordinator KPPP Teknologi Aplikasi Produk dan Kepala Pusat PPPTMGB "LEMIGAS" beserta jajarannya atas semua dukungan sehingga program penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Penelitian dengan judul "Peningkatan dan Pemanfaatan Biofuel : Implementasi Pemanfaatan Bahan Bakar B-40/50 Pada Kendaraan Bermesin Diesel" ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja produk biodiesel 40/50% (B-40/50) sehingga didapatkan evaluasi kelayakan bahan bakar B-40/50 sebagai pengganti minyak solar untuk mesin diesel dan sosialisasi mengenai pemanfaatannya kepada masyarakat serta melakukan proses perbaikan mutu produk biodiesel.

Hasil penelitian ini merupakan salah satu bentuk dukungan PPPTMGB "LEMIGAS" terhadap pelaksanaan kebijakan pemerintah tentang pentahapan kewajiban pemanfaatan bahan bakar nabati yang terdapat pada Peraturan Menteri ESDM NO. 12 TAHUN 2015 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2013 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain.

DAFTAR ISI

TIM PELAKSANA	ii
RINGKASAN EKSEKUTIF	iii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1	20
PENDAHULUAN	20
1.1 Latar Belakang	20
1.2 Ruang Lingkup Kegiatan	22
BAB 2	24
IMPLEMENTASI PEMANFAATAN BAHAN BAKAR B-40/50 PADA KENDARAAN BERMESIN DIESEL	24
2.1 STUDI PUSTAKA.....	24
2.2 METODOLOGI PENELITIAN	31
2.2.1. Pengujian Karakteristik Bahan Bakar	31
2.2.2. Pengujian Stabilitas Penyimpanan Bahan Bakar.....	35
2.2.3. Pengujian Presipitasi	36
2.2.4. Pengujian Kinerja Terbatas	36
2.3 HASIL DAN PEMBAHASAN	42
2.4 Sosialisasi Pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-50	61
BAB 3	65
KESIMPULAN DAN SARAN	65
4.1 Kesimpulan	65
4.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Endapan Presipitasi Bahan Bakar pada Temperatur 15 °C selama 7 dan 14 Hari.....	viii
Gambar 2. Hasil Pengukuran Daya Maksimum	x
Gambar 3. Hasil Pengukuran Torsi	xi
Gambar 4 Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar	xii
Gambar 5. Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang	xii
Gambar 17. Proses Transesterifikasi Biodiesel.....	26
Gambar 18. Kendaraan Uji.....	37
Gambar 19. Blending Bahan Bakar Uji.....	38
Gambar 20. Tampilan <i>software control unit Chassis Dynamometer</i>	39
Gambar 21. Siklus Urban (ECE R84).....	40
Gambar 22. Pelaksanaan Uji Kinerja Terbatas Kendaraan Uji 1	40
Gambar 23. Pelaksanaan Uji Kinerja Terbatas Kendaraan Uji 2.....	41
Gambar 24. Pelaksanaan Pengujian Konsumsi Bahan Bakar	41
Gambar 25. Perbandingan Hasil Pengujian Kandungan Air Stabilitas Penyimpanan	45
Gambar 26. Hasil Pengujian Kandungan Air B100.....	45
Gambar 27. Perbandingan Hasil Pengujian Viskositas Stabilitas Penyimpanan	46
Gambar 28. Hasil Pengujian Viskositas B100	47
Gambar 29. Perbandingan Hasil Pengujian Angka Asam Stabilitas Penyimpanan..	48
Gambar 30. Hasil Pengujian Angka Asam B100	48
Gambar 31. Hasil Pengujian Stabilitas Oksidasi B100	50
Gambar 32. Perbandingan Hasil Pengujian Presipitasi.....	51
Gambar 33. Grafik Hasil Uji Daya Maksimum Mesin Kendaraan Uji 1	53
Gambar 34. Grafik Hasil Uji Torsi Maksimum Kendaraan Uji di <i>Chassis Dynamometer</i>	54
Gambar 35. Grafik Hasil Uji Konsumsi Bahan Bakar Rata - Rata dalam 100 ml/menit	55
Gambar 36. Grafik Hasil Uji Emisi Opasitas Gas Buang Kendaraan Uji 1	56
Gambar 37. Grafik Hasil Uji Daya Maksimum Kendaraan uji 2	57
Gambar 38. Grafik hasil Uji Torsi Maksimum Kendaraan Uji 2 di <i>Chassis Dynamometer</i>	58

KELOMPOK BAHAN BAKAR DAN AVIASI

Gambar 39. Grafik Hasil Uji Konsumsi Bahan Bakar dalam 100 ml/menit Pada Kendaraan Uji 2	60
Gambar 40. Grafik Hasil Uji Emisi Opasitas Gas Buang Kendaraan Uji 2	61
Gambar 41. Sosialisasi Pada Forum Media Massa	62
Gambar 42. Sosialisasi Di Tegal dan Bandung	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Bahan Bakar B-40/50 dibandingkan dengan B-30 dan B-0	vi
Tabel 4. Spesifikasi Bahan Bakar Biodiesel berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Nomor 189.K/10/DJE/2019.	24
Tabel 5. Parameter dan Metode Pengujian Kualitas dan Mutu Biodiesel berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Nomor 189.K/10/DJE/2019	31
Tabel 6. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 48 menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 28.K/10/DJM.T/2016 ..	32
Tabel 7. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 51 menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 3675 K/24/DJM/2006..	33
Tabel 8. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 48 B-30 dan Variasi menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 0234.K/10/DJM.S/2019	34
Tabel 9. Parameter dan Metode Pengujian Stabilitas Penyimpanan.....	35
Tabel 10. Spesifikasi Mesin Kendaraan Uji 1	36
Tabel 11. Spesifikasi mesin kendaraan Uji 2.....	37
Tabel 12. Hasil Uji Karakteristik Bahan Bakar B-100	42
Tabel 13. Hasil Uji Karakteristik Bahan Bakar B-0, B-30, B-40, dan B-50.....	43
Tabel 14. Hasil Pengujian Stabilitas Oksidasi B-0, B-30, B-40, dan B-50	50
Tabel 15. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Uji 1	55
Tabel 16. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Uji 2	59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk serta peningkatan jumlah kendaraan mendorong naiknya kebutuhan migas domestik. Sepanjang periode 2009-2019, volume impor migas nasional telah meningkat 36,4% menjadi 49,1 juta ton dengan rata-rata peningkatan 3,6% per tahun (Ditjen Migas, 2019). Peningkatan impor BBM di Indonesia saat ini menyebabkan ketahanan energi nasional rentan terhadap fluktuasi harga dan pasokan minyak mentah dunia. Untuk Minyak Solar / Gas Oil / ADO / HSD, pada tahun 2018 konsumsinya mencapai 30 juta KL dengan volume yang diimpor sebesar 6,5 juta KL (Ditjen Migas, 2019). Penganekaragaman energi selain energi berbasis fosil mutlak diperlukan untuk mengantisipasi cadangan minyak domestik dan dunia yang semakin menurun serta meningkatkan ketahanan energi nasional. Sebagai produsen dan pengeksport komoditi kelapa sawit, Indonesia memiliki potensi besar untuk mendorong penggunaan BBN berbasis sawit sebagai energi terbarukan. Saat ini, produksi kelapa sawit di Indonesia diprediksi mencapai 42 juta ton (Ditjen Perkebunan, 2019). Pemanfaatan kelapa sawit menjadi biodiesel dapat mendorong industri BBN dalam negeri sehingga mengurangi impor dan ketergantungan terhadap BBM.

Pengembangan BBN sebagai dukungan terhadap implementasi mandatori BBN untuk mengurangi penggunaan BBM di Indonesia telah diperkuat landasan hukumnya melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain. Dalam peraturan tersebut Pemerintah menetapkan pentahapan minimal pemanfaatan biofuel (biodiesel, bioetanol, dan minyak nabati murni) hingga tahun 2025 pada sektor PSO (usaha mikro, usaha perikanan, usaha pertanian, transportasi, pelayanan umum), transportasi non PSO, industri dan komersial, serta pembangkit listrik.

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015, pemerintah Indonesia telah menetapkan kewajiban penggunaan bahan bakar biodiesel sebagai campuran minyak solar untuk mesin diesel. Saat ini mandatori penggunaan BBN

telah mencapai pencampuran minimal biodiesel sebesar 20% atau B-20. Penggunaan B-20 di seluruh sektor secara resmi diwajibkan Pemerintah melalui Peraturan Presiden No.66 tahun 2018 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Presiden No.61 tahun 2015 tentang Penghimpunan dan Penggunaan Dana Perkebunan Kelapa Sawit yang berlaku mulai 1 September 2018. Pada tahun 2020, mandatori pencampuran biodiesel ditargetkan minimal 30% atau B-30. Dengan kewajiban penggunaan biodiesel tersebut yang terus meningkat, pengembangan biodiesel (B-100) menjadi mutlak diperlukan untuk mempercepat pengembangan energi baru dan terbarukan. Saat ini pemerintah Indonesia mengatur Standar dan Mutu (Spesifikasi) Biodiesel berdasarkan SK Dirjen EBTKE Nomor 189.K/10/DJE Tahun 2019.

Penggunaan biodiesel 50% (B-40/50) sebagai bahan bakar untuk mesin diesel juga dapat dilakukan sebagai upaya percepatan dalam pemanfaatan BBN. Oleh karena itu, dalam mendukung implementasi B-40/50 untuk mesin diesel dibutuhkan kajian teknis terkait aspek kualitas bahan bakar dan unjuk kinerja mesin. Selain itu, pengujian tersebut juga dibutuhkan untuk mengevaluasi kesesuaian produk B-40/50 dengan spesifikasi yang ditetapkan sehingga didapatkan rekomendasi teknis untuk diterapkan pada mesin diesel. Pengujian kualitas dan mutu produk B-40/50 meliputi sifat fisika-kimia bahan bakar dibandingkan dengan Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar campuran biodiesel 30% (B-30) sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 0234.K/10/DJM.S/2019 serta beberapa parameter tambahan sebagai pengembangan spesifikasi biodiesel 50%. pengujian unjuk kerja bahan bakar dilakukan untuk menganalisa performa mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang, dengan *engine test bench*. Selain pengujian, juga perlu dilakukan sosialisasi mengenai implementasi pemanfaatan B-40/50 sebagai bahan bakar pada kendaraan bermesin diesel untuk memberikan informasi mengenai sifat dari bahan bakar B-40/50.

Salah satu keluhan yang paling sering dilaporkan dari implementasi Biodiesel B30 adalah terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar. Penyebab utama dari akumulasi deposit pada filter tersebut adalah kandungan impurities monogliserida. Untuk dapat diimplementasikan dengan kadar lebih tinggi, spesifikasi kandungan monogliserida harus diturunkan dari angka 0.55% saat ini. Upaya penurunan kadar monogliserida dapat dilakukan dengan memperbaiki proses konversi untuk mendorong reaksi yang lebih sempurna. Proses pemisahan

sekunder dapat ditambahkan pada proses eksisting. Proses pemisahan yang dapat diterapkan antara lain distilasi, kristalisasi, dan sentrifugasi. Pada penelitian ini akan dilakukan investigasi mengenai perbaikan proses dan pemisahan skala laboratorium dengan sasaran menurunkan kadar monogliserida sebesar 0.3%. Hasil penelitian ini dapat dijadikan rekomendasi bagi pemerintah dalam penetapan spesifikasi biodiesel, sekaligus rekomendasi bagi industri biodiesel.

Kegiatan ini dilaksanakan oleh Kementerian ESDM c.q. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB) "LEMIGAS", Balitbang ESDM pada Tahun Anggaran 2020. Diharapkan data-data teknis yang dihasilkan dari pengujian ini dapat memberikan rekomendasi teknis sebagai masukan pada pemerintah.

1.2 Ruang Lingkup Kegiatan

Ruang lingkup kajian ini meliputi :

1. Studi pustaka untuk memperoleh landasan teoritis maupun praktis berkaitan dengan objek kajian.
2. Persiapan Bahan Bakar Uji
 - a. Persiapan peralatan pengambilan sampel.
 - b. Melakukan blending bahan bakar B-40/50
 - c. Melakukan pengambilan sampel B-30 yang ada di pasaran untuk digunakan sebagai *reference*.
3. Persiapan peralatan uji meliputi peralatan uji karakteristik bahan bakar, peralatan uji test bench, peralatan uji stabilitas penyimpanan dan peralatan uji presipitasi.
4. Pengujian kualitas dan mutu bahan bakar B-40/50 dan B-30 meliputi sifat fisika-kimia bahan bakar yang mengacu pada Standar dan Mutu (Spesifikasi) Biodiesel sesuai SK Dirjen Migas No. 0234.K/10/DJM.S/2019 serta beberapa parameter tambahan sebagai pengembangan spesifikasi biodiesel 50%.
5. Pengujian stabilitas penyimpanan bahan bakar B-40/50 dengan berbagai varian komposisi berdasarkan periode waktu dan kondisi penyimpanan yang telah ditentukan.
6. Uji presipitasi bahan bakar B-40/50 pada temperatur rendah (*cold soaking*).

7. Uji kinerja terbatas untuk bahan bakar uji B-40/50 yang meliputi daya, torsi, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang.
8. Analisis data, evaluasi, dan penyampaian laporan hasil pengujian produk biodiesel 50% (B-40/50) sebagai bahan bakar mesin diesel dalam rangka pemanfaatan bahan bakar nabati.
9. Sosialisasi mengenai pemanfaatan B-40/50 kepada masyarakat.

BAB 2

IMPLEMENTASI PEMANFAATAN BAHAN BAKAR B-40/50 PADA KENDARAAN BERMESIN DIESEL

2.1 STUDI PUSTAKA

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari bahan mentah terbarukan (*renewable*) selain bahan bakar diesel dari minyak bumi. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati atau lemak hewan dan memenuhi standar mutu (spesifikasi) yang disyaratkan. Sumber utama bahan baku Biodiesel di Indonesia adalah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dengan total produksi 36 juta ton per tahun (2017) dan diprediksi meningkat menjadi 42 juta ton per tahun (2019) (Ditjen Perkebunan, 2019). Standar dan mutu (spesifikasi) Biodiesel di Indonesia diatur oleh pemerintah berdasarkan SK Dirjen EBTKE Nomor 189 Tahun 2018 (Tabel 4).

Tabel 2. Spesifikasi Bahan Bakar Biodiesel berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Nomor 189.K/10/DJE/2019.

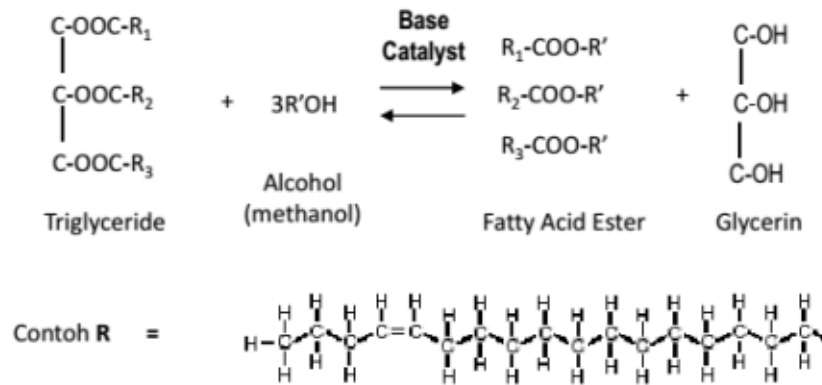
No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
1	Massa Jenis pada 40 °C	kg/m ³	850	890	D 4052
2	Viskositas pada 40 °C	mm ² /s	2.3	6.0	D 445
3	Angka Setana		51	-	D 613
4	Titik Nyala	°C	100	-	D 93
5	Titik Kabut	°C	-	18	D 2500
6	Korosi Bilah Tembaga		Kelas 1		D 130
7	Residu Karbon	%-massa	-	0.3	D 4530
8	Air dan Sedimen	%-volume	-	0.05	D 2709
9	Distilasi (90% Vol. Penguapan)	°C	-	360	D 1160
10	Abu Tersulfatkan	%-massa	-	0.02	D 874
11	Belerang	mg/kg	-	50	D 5453
12	Fosfor	mg/kg	-	4	AOCS Ca 12-55
13	Angka Asam	mg KOH/g	-	0.5	D 664
14	Gliserol Bebas	%-massa	-	0.02	D 6584 / AOCS Ca 14-56
15	Gliserol Total	%-massa	-	0.24	D 6584 / AOCS Ca 14-56
16	Kadar Ester Metil	%-massa	96.5	-	SNI 7182:2015
17	Angka Iodium	%-massa	-	115	AOCS Cd 1-25
18	Stabilitas Oksidasi Rancimat	Menit	-	480	EN 15751
19	Monogliserida	%-massa	-	0.55	D 6584 / SNI 7182:2015

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
20	Warna	-	-	3	D 1500
21	Kadar Air	ppm, maks	-	350	D 6304
22	CFPP (<i>Cold Filter Plugging Point</i>)	°C	-	16	D 6371

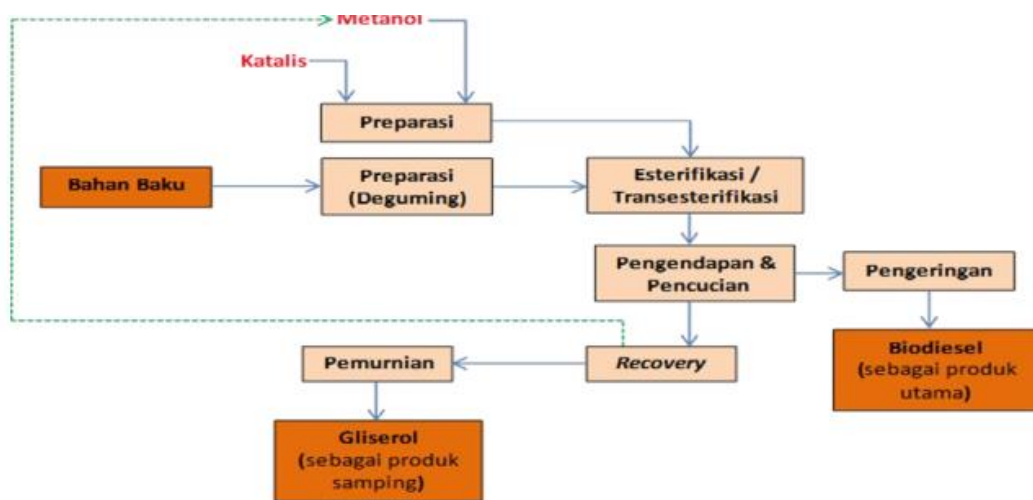
Secara umum, Biodiesel bersifat mudah terdegradasi (*biodegradable*), tidak beracun dibanding minyak solar, memiliki angka setana yang lebih baik dari minyak solar biasa, asap buangan biodiesel tidak hitam, tidak mengandung sulfur serta senyawa aromatik sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan ramah lingkungan serta tidak menambah akumulasi gas karbon dioksida di atmosfer sehingga lebih jauh lagi mengurangi efek pemanasan global. Hasil penelitian (Dewan Minyak Sawit Indonesia, 2013) menunjukkan bahan bakar campuran biodiesel 20% (B-20) memiliki emisi gas buang $\pm 50\%$ lebih rendah dibandingkan minyak solar (B-0).

Kualitas biodiesel dipengaruhi oleh komposisi asam lemak baik jenuh maupun tak jenuh pada minyak nabati maupun lemak hewani sebagai bahan baku. Beberapa parameter yang dipengaruhi dari pemilihan bahan baku antara lain angka iodium, titik kabut, angka setana, dan stabilitas oksidasi. Di Indonesia, biodiesel diproduksi dari minyak kelapa sawit yang memiliki kandungan asam lemak jenuh (43-47%) dan asam lemak tak jenuh tunggal (43-47%) dengan asam lemak tak jenuh ganda (10%). Dampak positif yang dihasilkan dari komposisi tersebut antara lain stabilitas oksidasi (>12 jam), angka iodium (mencapai 60 %), dan angka setana (>51).

Proses produksi biodiesel di Indonesia pada umumnya menggunakan reaksi transesterifikasi dengan metanol. Reaksi tersebut mereaksikan minyak nabati dengan metanol menggunakan katalis basa (CH_3NaO , NaOH , atau KOH) menghasilkan campuran ester metal asam lemak dengan produk samping berupa gliserol (Gambar 17). Secara garis besar, proses produksi biodiesel ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Proses Transesterifikasi Biodiesel



Gambar 7. Diagram Alir Proses Produksi Biodiesel.

Biodiesel murni dinotasikan sebagai B-100, sedangkan apabila dicampurkan dengan minyak solar, dinotasikan sebagai B-XX. Biodiesel (B-100) memiliki sifat fisika-kimia yang mirip dengan Minyak Solar sehingga campuran bahan bakar tersebut dapat diaplikasikan langsung pada mesin-mesin diesel tanpa adanya modifikasi. Sebagai bahan bakar pengganti diharapkan minyak nabati dapat menggantikan pemakaian bahan bakar diesel fosil dan sebagai pencampur diharapkan minyak nabati dapat digunakan dalam bentuk campuran dengan bahan bakar diesel fosil. Beberapa hal terkait pencampuran bahan bakar biodiesel untuk kendaraan dengan mesin diesel diantaranya (*National Biodiesel Board, 2007*) :

- Pembakaran lebih sempurna dibandingkan dengan minyak solar karena biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi.

- Kadar belerang dalam biodiesel lebih rendah dibandingkan minyak solar sehingga emisi gas buang lebih baik dan lebih ramah lingkungan.
- Biodiesel memiliki kemampuan solvensi (melarutkan) sehingga dapat membersihkan dan merontokkan kerak/deposit pada tangka bahan bakar.
- Biodiesel memiliki viskositas dan titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan minyak solar.
- Penambahan biodiesel pada minyak solar menyebabkan penurunan stabilitas oksidasi. Hal ini dapat meningkatkan masalah teknis terkait stabilitas bahan bakar serta menimbulkan endapan pada sistem bahan bakar, *filter clogging*, dll.

Karakteristik Motor Diesel

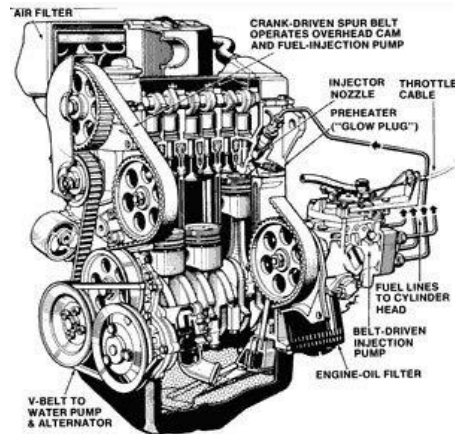
Motor diesel merupakan jenis motor bakar torak yang biasa disebut dengan motor penyalaan kompresi (*Compressed Ignition Engine*) karena penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan mengeluarkan bahan bakar ke dalam udara yang telah bertekanan dan temperatur tinggi akibat dari proses kompresi.

Pemakaian bahan bakar pada motor diesel lebih rendah dari pada motor bensin. Namun karena perbandingan kompresinya yang tinggi maka tekanan kerja motor diesel lebih tinggi dari pada motor bensin.

Sifat dasar yang dimiliki oleh motor diesel antara lain adalah :

- Bekerja dengan perbandingan kompresi tinggi
- Mempunyai konstruksi motor yang kokoh
- Mempunyai nilai AFR yang cukup tinggi
- Mempunyai efisiensi penggunaan kalor yang tinggi

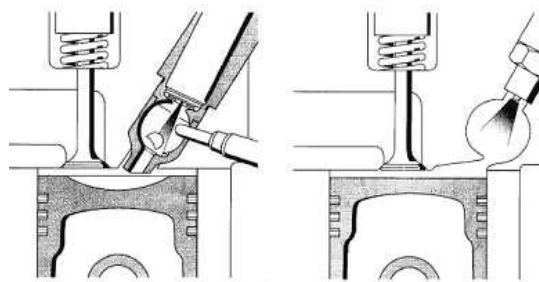
Hingga saat ini terdapat berbagai jenis motor diesel dari putaran rendah sampai putaran tinggi.



Gambar 8. Motor Diesel

Ruang Bakar Mesin Diesel

Pada umumnya ada 2 macam ruang bakar motor diesel yaitu: ruang bakar injeksi langsung (*direct injection combustion chamber*) dan ruang bakar tidak langsung (*in-direct injection combustion chamber*). Jenis ruang bakar injeksi langsung adalah mesin yang lebih efisien dan lebih ekonomis dari pada mesin yang menggunakan ruang bakar tidak langsung (*prechamber*), oleh karena itu mesin diesel injeksi langsung lebih banyak digunakan untuk kendaraan komersial dan truk, selain dari itu dapat menghasilkan suara dengan tingkat kebisingan yang lebih rendah.

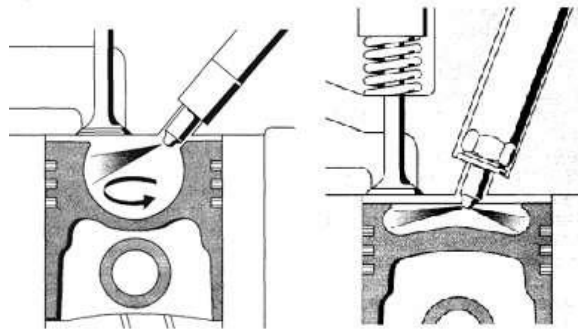


Gambar 9. Ruang Bakar Injeksi Tidak Langsung (*in-direct injection combustion chamber*)

Pada ruang bakar injeksi tidak langsung tampak bahwa bahan bakar diinjeksikan oleh pengabut (*nozzle*) tidak secara langsung pada ruang bakar utama (*combustion chamber*), namun diinjeksikan dalam ruang pembakaran awal (*prechamber*). Dalam pemakaiannya, ruang pembakaran awal ini terdapat beberapa

jenis diantaranya *controlled air swirl chamber*, *comet air swirl chamber*, *Suarer dual-turbulence system*, dan *pre-chamber system*.

Masing-masing bentuk dan sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan dan kelemahan, namun pada umumnya tipe ruang bakar ini digunakan pada kendaraan penumpang dimana kenyamanan lebih penting dari pada kendaraan komersial, disamping itu mesin diesel dengan ruang bakar *pre-chamber* menghasilkan emisi gas buang (HC dan NOx) yang rendah dan biaya pembuatan lebih rendah daripada mesin injeksi langsung. Berdasarkan kenyataan itulah mesin diesel dengan ruang bakar injeksi tidak langsung (*prechamber*) pemakaian bahan bakarnya lebih hemat dari pada mesin injeksi langsung (10 - 15%).



Gambar 10. Ruang Bakar Injeksi Langsung (*direct injection*)

Berbeda dengan tipe pembakaran tidak langsung, pada motor diesel pembakaran langsung, injeksi bahan bakar langsung ditujukan kedalam ruang bakar utama (*combustion chamber*), sehingga konstruksinya lebih sederhana. Disamping itu tenaga yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan tipe pembakaran tidak langsung, namun karena membutuhkan tekanan kompresi yang lebih besar, maka suara yang ditimbulkan akan lebih besar, disamping itu membutuhkan material yang lebih kuat pula.

Proses Pembakaran Mesin Diesel

Syarat-syarat yang sangat penting dari proses pembakaran motor diesel diantaranya adalah emisi yang rendah, suara pembakaran yang rendah, dan pemakaian bahan bakar yang hemat. Mesin diesel menggunakan bahan bakar yang memerlukan perhatian khusus. Bahan bakar tersebut harus bisa terbakar dengan sendirinya ketika diinjeksikan ke dalam udara bertekanan tinggi.

Makin rendah titik nyala sendiri dari bahan bakar akan menghasilkan peningkatan kinerja pembakaran bahan bakar dan berarti meningkatkan kinerja mesin. Untuk mengukur kemampuan bahan bakar menyala dengan sendirinya digunakan angka *cetane number*. *Cetane number* atau bilangan *cetane* adalah sebuah angka yang menentukan titik bakar dari bahan bakar. Angka ini diperlukan sebagai batasan pemakaian bahan bakar terhadap mesin. Apabila angka *cetane* yang dipergunakan tidak sesuai dengan rancangan mesin, akan ada masalah sebagai berikut.

- Jika terlalu tinggi, akan ada efek panas yang berlebihan terhadap mesin sehingga komponen mesin cepat rusak.
- Jika terlalu rendah, mengakibatkan adanya gejala ngelitik/*knocking*, sehingga opasitas gas buang akan berlebihan karena pembakaran mesin tidak terjadi dengan sempurna. Asap gas buang mesin menjadi hitam pekat.

2.2 METODOLOGI PENELITIAN

2.2.1. Pengujian Karakteristik Bahan Bakar

Pengujian kualitas dan mutu bahan bakar meliputi sifat fisika-kimia bahan bakar yang mengacu pada standar dan mutu (spesifikasi) yang ditetapkan pemerintah. Parameter dan metode uji yang diacu sesuai Standar dan Mutu (Spesifikasi) Biodiesel sesuai SK Dirjen EBTKE No. 189 Tahun 2019 serta beberapa parameter tambahan sebagai pengembangan spesifikasi Biodiesel. Parameter uji kualitas dan mutu bahan bakar B-100 ditampilkan pada Tabel 5 dengan tambahan parameter uji *caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.

Tabel 3. Parameter dan Metode Pengujian Kualitas dan Mutu Biodiesel berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi Nomor 189.K/10/DJE/2019

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
1	Massa Jenis pada 40 °C	kg/m ³	850	890	D 4052
2	Viskositas pada 40 °C	mm ² /s	2.3	6.0	D 445
3	Angka Setana		51	-	D 613
4	Titik Nyala	°C	130	-	D 93
5	Korosi Bilah Tembaga		Kelas 1		D 130
6	Residu Karbon	%-massa	-	0.3	D 4530
7	Distilasi (90% Vol. Penguapan)	°C	-	360	D 1160
8	Abu Tersulfatkan	%-massa	-	0.02	D 874
9	Belerang	mg/kg	-	10	D 5453
10	Fosfor	mg/kg	-	4	AOCS Ca 12-55
11	Angka Asam	mg KOH/g	-	0.4	D 664
12	Gliserol Bebas	%-massa	-	0.02	D 6584 / AOCS Ca 14-56
13	Gliserol Total	%-massa	-	0.24	D 6584 / AOCS Ca 14-56
14	Kadar Ester Metil	%-massa	96.5	-	SNI 7182:2015
15	Angka Iodium	%-massa	-	115	AOCS Cd 1-25
16	Stabilitas Oksidasi Rancimat	Menit	-	600	EN 15751
17	Monogliserida	%-massa	-	0.55	D 6584 / SNI 7182:2015
18	Warna	-	-	3	D 1500
19	Kadar Air	ppm, maks	-	350	D 6304
20	CFPP (<i>Cold Filter Plugging Point</i>)	°C	-	15	D 6371
21	Logam I (Na+K0)	mg/kg	-	5	EN 14108 / 14109 / 14538
22	Logam II (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	EN 14538

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
23	Total Kontaminan	mg/liter	-	20	ASTM D 2276 / 5452 / 6217
24	<i>Calorific Value</i>	kJ/kg	-	-	ASTM D 240
25	<i>Filter Blocking Tendency</i>	-	-	-	ASTM D 2068
26	<i>Cleanliness</i>	ISO	-	-	ISO 4406

Untuk pengujian kualitas bahan bakar solar 48 (B-0) meliputi sifat fisika kimia bahan bakar yang mengacu kepada standar dan mutu (spesifikasi) yang ditetapkan oleh pemerintah sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 28.K/10/DJM.T/2016 seperti pada Tabel 6 dengan tambahan parameter uji *caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.

Tabel 4. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 48 menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 28.K/10/DJM.T/2016

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
1	Angka Setana		48	-	D 613
	Indeks Setana		45	-	D 4737
2	Berat Jenis pada 15 ^o C	kg/m ³	815	870	D 4052 / D 1298
3	Viskositas pada 40 ^o C	mm ² /s	2	4.5	D 445
4	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0.25	D 4294 / D5453
5	Distilasi (90% Vol. Penguapan) (T90)	^o C	-	370	D 86
6	Titik Nyala	^o C	52	-	D 93
7	Titik Kabut	^o C	-	18	D 2500
	atau				
8	Titik Tuang	^o C	-	18	D 97 / D 5949
9	Residu Karbon	%m/m	-	0.1	D 189
10	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304
11	Kandungan FAME	%v/v	-	20	D 7806
12	Korosi Bilah Tembaga		Kelas 1		D 130
13	Kandungan Abu	%m/m	-	0.01	D 482
14	Kandungan Sedimen	%m/m	-	0.01	D 473
15	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	D 664
16	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0.6	D 664
17	Lubrisitas HFRR	micron	-	460	D 6079
18	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang		-

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
19	Warna	No. ASTM	-	3.0	D 1500
20	Stabilitas Oksidasi	Jam	35	-	EN 15751
21	<i>Calorific Value</i>	kJ/kg	-	-	ASTM D 240
22	<i>Filter Blocking Tendency</i>	-	-	-	ASTM D 2068
23	<i>Cleanliness</i>	ISO	-	-	ISO 4406

Untuk pengujian kualitas bahan bakar solar 51 (B-0) meliputi sifat fisika kimia bahan bakar yang mengacu kepada standar dan mutu (spesifikasi) yang ditetapkan oleh pemerintah sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 seperti pada Tabel 7 dengan tambahan parameter uji *caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.

Tabel 5. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 51 menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 3675 K/24/DJM/2006

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min.	Maks.	
1.	Angka Setana		51	-	ASTM D 613
	Indeks Setana		48	-	ASTM D 4737
2.	Berat jenis pada 15°C	kg/m ³	820	860	ASTM D 1298 ASTM D 4052
3.	Viskositas pada T 40°C	mm ² /s	2,0	4,5	ASTM D 445
4.	Kandungan sulphur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	ASTM D 2622
5.	Distilasi:				ASTM D 86
	T90	°C	-	340	
	T95	°C	-	360	
	Titik Didih Akhir	°C	-	370	
6.	Titik Nyala	°C	55	-	ASTM D 93
7.	Titik Tuang	°C	-	18	ASTM D 97
8.	Residu karbon	% m/m	-	0,30	ASTM D 4530
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500	ASTM D 1744
10.	Biological Growth ^{*)}	-	Nihil		
11.	Stabilitas Oksidasi	g/m ³	-	25	ASTM D 2274
12.	Kandungan FAME ^{*)}	% v/v	-	10	
13.	Kandungan Metanol dan etanol ^{*)}	% v/v	Tak terdeteksi		ASTM D 4815
14.	Korosi Bilah Tembaga	Merit	-	kelas 1	ASTM D 130
15.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	ASTM D 482

No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji
			Min.	Maks.	
16.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	ASTM D 473
17.	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	ASTM D 664
18.	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0,3	ASTM D 664
19.	Partikulat	mg/l	-	10	ASTM D 2276
20.	Penampilan Visual	-	Jernih dan terang		
21.	Warna	No. ASTM	-	1,0	ASTM D 1500
22.	Lubricity (HFRR wear scar dia. @60°C)	micron	-	460	ASTM D 6079
23.	Calorific Value	kJ/kg	-	-	ASTM D 240
24.	Filter Blocking Tendency	-	-	-	ASTM D 2068
25.	Cleanliness	ISO	-	-	ISO 4406

Sementara untuk parameter B-30 dan variasi formula bahan bakar uji dari Minyak Solar 48 dilakukan pengujian meliputi sifat fisika kimia bahan bakar yang mengacu kepada standar dan mutu (spesifikasi) yang ditetapkan oleh pemerintah sesuai dengan SK Dirjen Migas No. 0234.K/10/DJM.S/2019 seperti pada Tabel 8 dengan tambahan parameter uji *caloric value*, *Filter Blocking Tendency*, dan *Cleanliness*.

Tabel 6. Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 48 B-30 dan Variasi menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 0234.K/10/DJM.S/2019

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
1	Angka Setana, atau		48	-	D 613
	Indeks Setana		45	-	D 4737
2	Berat Jenis pada 15°C	kg/m ³	815	880	D 4052 / D 1298
3	Viskositas pada 40°C	mm ² /s	2	5	D 445
4	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0.25	D 4294 / D5453
5	Distilasi (90% Vol. Penguapan) (T90)	°C	-	370	D 86
6	Titik Nyala	°C	52	-	D 93
7	Titik Kabut	°C	-	18	D 2500
	atau Titik Tuang	°C	-	18	D 97 / D 5949
8	Residu Karbon	%m/m	-	0.1	D 189
9	Kandungan Air	mg/kg	0	425 dan dilaporkan	D 6304
10	Kandungan FAME	%v/v	30		D 7806

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi		Metode Pengujian
			Min	Maks	
11	Korosi Bilah Tembaga		Kelas 1		D 130
12	Kandungan Abu	%m/m	-	0.01	D 482
13	Kandungan Sedimen	%m/m	-	0.01	D 473
14	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	0		D 664
15	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0.6	D 664
16	Lubrisitas HFRR	micron	-	460	D 6079
17	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang		-
18	Warna	No. ASTM	-	3.0	D 1500
19	Stabilitas Oksidasi	Jam	35	-	EN 15751
		Menit	45	-	D7545 / EN 16091
20	<i>Calorific Value</i>	kJ/kg	-	-	ASTM D 240
21	<i>Filter Blocking Tendency</i>	-	-	-	ASTM D 2068
22	<i>Cleanliness</i>	ISO	-	-	ISO 4406

2.2.2. Pengujian Stabilitas Penyimpanan Bahan Bakar

Pengujian stabilitas penyimpan bahan bakar hasil evaluasi awal yaitu 3 bahan bakar hasil formulasi dan reference pada campuran minyak solar 48, dan 2 formulasi campuran pada minyak solar 51 dilakukan pada tangki penyimpanan bahan bakar dengan kondisi lingkungan terbuka dan waktu penyimpanan 1 bulan. Parameter uji stabilitas penyimpanan meliputi sifat fisika-kimia yang dapat berubah selama penyimpanan dan mempengaruhi kualitas dari produk bahan bakar sesuai Tabel 9. Pengujian lengkap bahan bakar dilakukan pada hari pertama dan hari terakhir, periode pengujian dilakukan setiap 2 hari selama 10 hari pertama dilanjutkan setiap 5 hari selama 30 hari penyimpanan sebanyak 8 kali.

Tabel 7. Parameter dan Metode Pengujian Stabilitas Penyimpanan

No	Parameter Uji	Metode Pengujian
1	Viskositas pada 40 °C	ASTM D 445
2	Angka Asam	ASTM D 664
3	Stabilitas Oksidasi Rancimat	EN 15751
4	Kandungan Air	ASTM D 6304
5	Biological Growth	ASTM D 7463

2.2.3. Pengujian Presipitasi

Uji presipitasi dilakukan pada bahan bakar B40/50. Uji presipitasi diperlukan untuk mengukur pembentukan padatan yang terpisah dari fasa cairnya (presipitat). Pengujian ini dilakukan pada temperatur rendah di bawah titik kabut bahan bakar (*cold soaking*) dan temperature ruangan. Uji presipitasi dilakukan dengan metode acuan ASTM D 7501 (Metode Uji Standar untuk Penentuan Potensi Pemblokiran Filter Bahan Bakar) dengan modifikasi waktu dan temperatur perendaman (*cold soaking*) dan penentuan potensi pemblokiran filter dengan perhitungan presipitat.

2.2.4. Pengujian Kinerja Terbatas

Pengujian kinerja terbatas dilakukan pada *chassis dynamometer* dengan tahapan sebagai berikut :

a. Persiapan Kendaraan Uji

Kendaraan uji yang digunakan adalah kendaraan dibawah 3,5 Ton yaitu satu unit kendaraan penumpang (*passanger car*) dan satu unit mobil pikap kabin (*pickup single cabin*). Dua kendaraan uji ini merupakan kendaraan baru dan sudah dalam pengkondisian layak untuk melakukan pengujian. Pengadaan kedua kendaraan uji dilakukan melalui *e-katalog*. Berikut adalah spesifikasi *engine* kendaraan yang akan digunakan dalam pengujian kinerja terbatas.

Tabel 8. Spesifikasi Mesin Kendaraan Uji 1

Tipe Mesin / <i>Engine Type</i>	2 GD FTV 4 <i>Cylinder in-line</i> , 16 valve DOHC with VNT <i>Intercooler</i>
Isi Silinder / <i>Displacement (Cc)</i>	2.393
Diameter X Langkah / <i>Bore X Stroke (Mm)</i>	92,0 x 90,0
Daya Maksimum / <i>Maximum Output (Ps/Rpm)</i>	149/3400
Torsi Maksimum / <i>Maximum Torque (Kgm/Rpm)</i>	349/1200-2,800
Sistem Pemasukan Bahan Bakar / <i>Fuel System</i>	<i>Injection With Common Rail</i>
Transmisi	Otomatis
Tipe Bahan Bakar/ <i>Fuel Type</i>	Diesel

Tabel 9. Spesifikasi mesin kendaraan Uji 2

Tipe Mesin / <i>Engine Type</i>	4 Silinder 2500cc Turbo Diesel OHV <i>direct injection</i>
Isi Silinder / <i>Displacement (Cc)</i>	2500 cc
Daya Maksimum / <i>Maximum Output (Ps/Rpm)</i>	80 / 3500 rpm
Torsi Maksimum / <i>Maximum Torque (Nm/Rpm)</i>	192 / 1800 rpm
Sistem Pemasukan Bahan Bakar / <i>Fuel System</i>	<i>Common Rail</i>
Transmisi	Manual
Tipe Bahan Bakar/ <i>Fuel Type</i>	Diesel

**Gambar 11.** Kendaraan Uji

b. Persiapan Bahan Bakar Uji

Bahan bakar yang akan digunakan untuk pengujian kinerja terbatas dalam kegiatan ini adalah:

1. B30 (campuran 70% minyak solar B0 dan 30% minyak biodiesel (B100))
2. B40 (campuran 60% minyak solar B0 dan 40% minyak biodiesel (B100))
3. B50 (campuran 50% minyak solar B0 dan 50% minyak biodiesel (B100))

Blending bahan bakar uji dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Aviasi KPPPT Teknologi Aplikasi Produk, PPPTMGB “LEMIGAS” menggunakan *fuel blending portable* (FBP) dengan kapasitas maksimal 500 liter setiap *blending*.



Gambar 12. Blending Bahan Bakar Uji

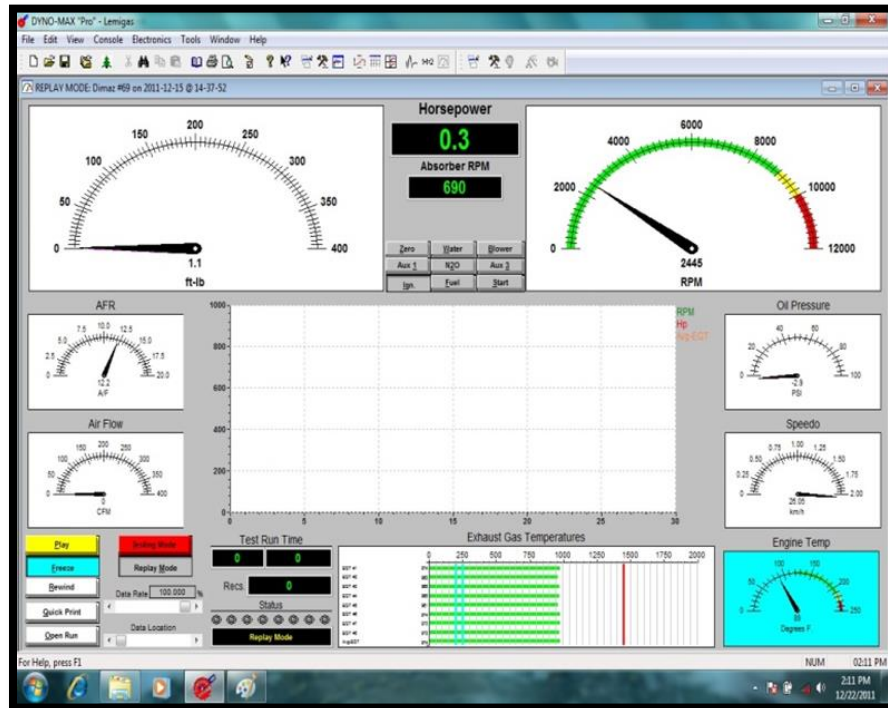
c. Pengujian Unjuk Kinerja Mesin pada *Chassis Dynamometer*

Pelaksanaan pengujian mesin dilakukan untuk mendapatkan data-data pengaruh penggunaan bahan bakar B-40 dan B-50 terhadap kinerja mesin diesel antara lain daya mesin, torsi mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi opasitas dari gas buang yang kemudian dibandingkan dengan bahan bakar B-30 sebagai bahan bakar *reference*. Pengujian kinerja dilakukan dengan menggunakan *Lemigas in House Test Methode* untuk mendapatkan daya dan torsi Mesin.

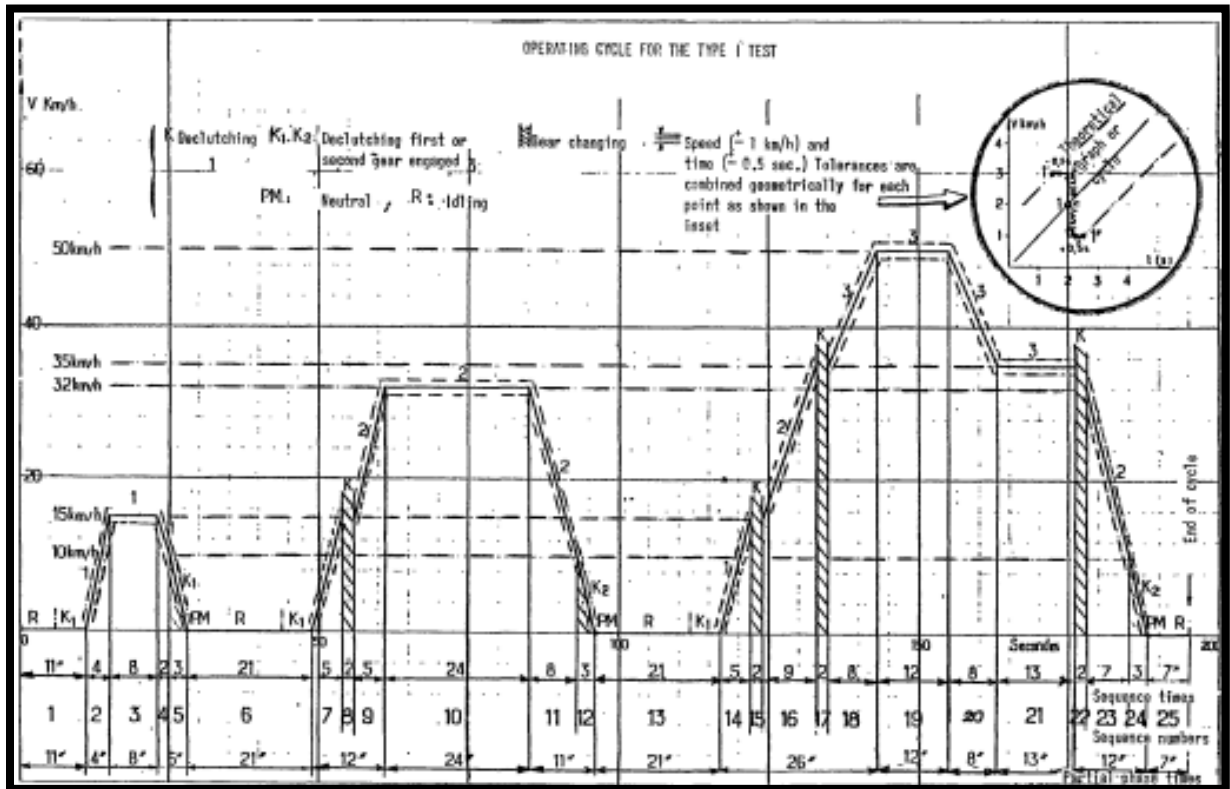
Untuk pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan SNI 7554 Tahun 2010 yang mengacu juga pada UN ECE R 84 melalui metode pengujian siklus urban dan pengujian pada tiap

kecepatan serta putaran mesin. Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan labu ukur dan *stopwatch*. Pengukuran dilakukan secara manual dengan pemakaian bahan bakar sebanyak 100 ml (0,1 L).

Pengujian emisi gas buang dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri LH Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan diatas Tahun 2010 yang mengacu pada SNI 19-7118.1-2005.



Gambar 13. Tampilan software control unit Chassis Dynamometer



Gambar 14. Siklus Urban (ECE R84)



Gambar 15. Pelaksanaan Uji Kinerja Terbatas Kendaraan Uji 1



Gambar 16. Pelaksanaan Uji Kinerja Terbatas Kendaraan Uji 2



Gambar 17. Pelaksanaan Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

2.3 HASIL DAN PEMBAHASAN

2.3.1. Karakteristik Bahan Bakar B-40 dan B-50

Bioenergi menjadi salah satu fokus pemerintah Indonesia dalam pengembangan sumber daya alam dan energi, salah satunya adalah dengan cara pencampuran minyak solar dan biodiesel. Salah satu produk bioenergi yang ditawarkan pemerintah Indonesia adalah B-40 dan B-50. B-40 adalah pencampuran 40% Biodiesel dengan 60% bahan bakar minyak jenis Solar dan B-50 adalah pencampuran 50% Biodiesel dengan 50% bahan bakar minyak jenis Solar.

Pengujian kualitas dan mutu bahan bakar meliputi karakteristik fisika-kimia bahan bakar yang mengacu pada standar dan mutu (spesifikasi) yang ditetapkan pemerintah. Parameter dan metode uji yang diacu sesuai Standar dan Mutu (Spesifikasi) Biodiesel sesuai SK Dirjen EBTKE No. 189 Tahun 2019 serta beberapa parameter tambahan sebagai pengembangan spesifikasi Biodiesel. Sedangkan, pengujian kualitas dan mutu bahan bakar Minyak jenis Solar mengacu pada Standar dan Mutu (Spesifikasi) Minyak Solar 48 sesuai SK Dirjen Migas No. 0234 K/10/DJM.S/2019. Hasil pengujian karakteristik Bahan Bakar B-100 dapat dilihat pada Tabel 12, dan hasil uji karakteristik Bahan Bakar B-0, B-30, B-40 dan B-50 dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 10. Hasil Uji Karakteristik Bahan Bakar B-100

No	Parameter Uji	Unit	Hasil Uji		Batasan Mutu		Metode Uji
			B100	Min	Maks		
1	Massa Jenis pada 40°C	kg/m ³	860.5	850	890		ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40°C	cSt	4.42	2.3	6		ASTM D 445
3	Angka Setana	-	60.1	51	-		ASTM D 613
4	Titik Nyala	°C	177	130	-		ASTM D 93
5	Korosi Bilah Tembaga	merit	1a	Nomor 1			ASTM D 130
6	Residu Karbon	% massa	Nihil	-	0.05		ASTM D 4530
7	Temperatur Distilasi 90%	°C	345.1	-	360		ASTM D 1160
8	Abu Tersulfatkan	% massa	0	-	0.02		ASTM D 874
9	Belerang	mg/kg	7.71	-	10		ASTM D 5453
10	Fosfor	mg/kg	0.98	-	4		AOCS Ca 12-55
11	Angka Asam	mg KOH/g	0.33	-	0.4		ASTM D 664
12	Gliserol Bebas	% massa	0.004	-	0.02		ASTM D 6584
13	Gliserol Total	% massa	0.131	-	0.24		ASTM D 6584
14	Kadar Ester Metil	% massa	98.91	96.5	-		SNI 7182:2015
15	Angka Iodium	% massa	50.33	-	115		AOCS Cd 1-25

No	Parameter Uji	Unit	Hasil Uji	Batasan Mutu		Metode Uji
			B100	Min	Maks	
16	Stabilitas Oksidasi (Rancimat)	menit	1087	600	-	EN 15751
17	Monogliserida	% massa	0.42	-	0.55	ASTM D 6584
18	Warna	-	1	-	3	ASTM D 1500
19	Kadar Air	ppm	339.1	-	350	ASTM D 6304
20	<i>Cold Filter Plugging Point</i>	°C	13	-	15	ASTM D 6371
21	Logam I (Na + K)	ppm	0.53	-	5	EN 14108
22	Logam II (Ca + Mg)	ppm	0.08	-	5	EN 14108
23	Total Kontaminan	mg/L	17.1	-	20	ASTM D 5452 / D 7321

Tabel 11. Hasil Uji Karakteristik Bahan Bakar B-0, B-30, B-40, dan B-50

No	Parameter Uji	Unit	HASIL UJI				Metode Uji
			B-0	B-30	B-40	B-50	
1	Angka Setana	-	49.1	52.4	53.6	54.7	ASTM D 613
2	Berat Jenis suhu 15°C	kg/m ³	841.9	853.4	857.1	860.7	ASTM D 4052 / D 1298
3	Viskositas suhu 40°C	cSt	2.43	3.13	3.25	3.55	ASTM D 445
4	Kandungan Sulfur	ppm	1200	910	820	750	ASTM D 4294 / D5453
5	Distilasi 90% Vol Penguapan	°C	344.8	346.1	351.4	355.6	ASTM D 86
6	Titik Nyala	°C	66	82	88	92	ASTM D 93
7	Titik Tuang	°C	6	9	12	12	ASTM D 97
8	Titik Kabut	°C	9.3	10.7	11.3	11.7	ASTM D 2500
9	Residu Karbon	% m/m	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	ASTM D 189
10	Kandungan Air	ppm	113.7	181.90	211.70	238.90	ASTM D 6304
11	Kandungan FAME	% v/v	0	30	40.1	50.2	ASTM D 7806 / D 7371
12	Korosi Bilah Tembaga	-	1a	1a	1a	1a	ASTM D 130
13	Kandungan Abu	% m/m	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	ASTM D 482
14	Kandungan Sedimen	% m/m	Nihil	Nihil	Nihil	Nihil	ASTM D 473
15	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	0	0	0	0	ASTM D 664
16	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	0.09	0.16	0.20	0.22	ASTM D 664
17	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Visual
18	Warna	No. ASTM	2.7	2.2	2.0	1.6	ASTM D 1500
19	Lubrisitas HFRR	micron	333.5	319.5	298	277.5	ASTM D 6079
20	Stabilitas Oksidasi	Jam	> 180	58,7	51.3	49.7	EN 15751

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik fisika-kimia bahan bakar minyak jenis biodiesel (B-100) memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan sesuai SK Dirjen EBTKE No. 189 Tahun 2019, dan hasil pengujian antara B-0, B-30, B-40, dan B-50 bahwa bahan bakar B-40 dan B-50 memiliki karakteristik fisika dan kimia yang semakin mendekati karakteristik bahan bakar B-100. Hal tersebut disebabkan karena bertambahnya besar persen pencampuran B-100 terhadap bahan bakar minyak jenis solar yaitu sebesar 40% dan 50% pada B-100. Peningkatan campuran B-100 pada B-40 dan B-50 mampu meningkatkan nilai

angka setana menjadi 53.6 dan 54.7 serta menurunkan kandungan sulfur menjadi 820 ppm dan 750 ppm.

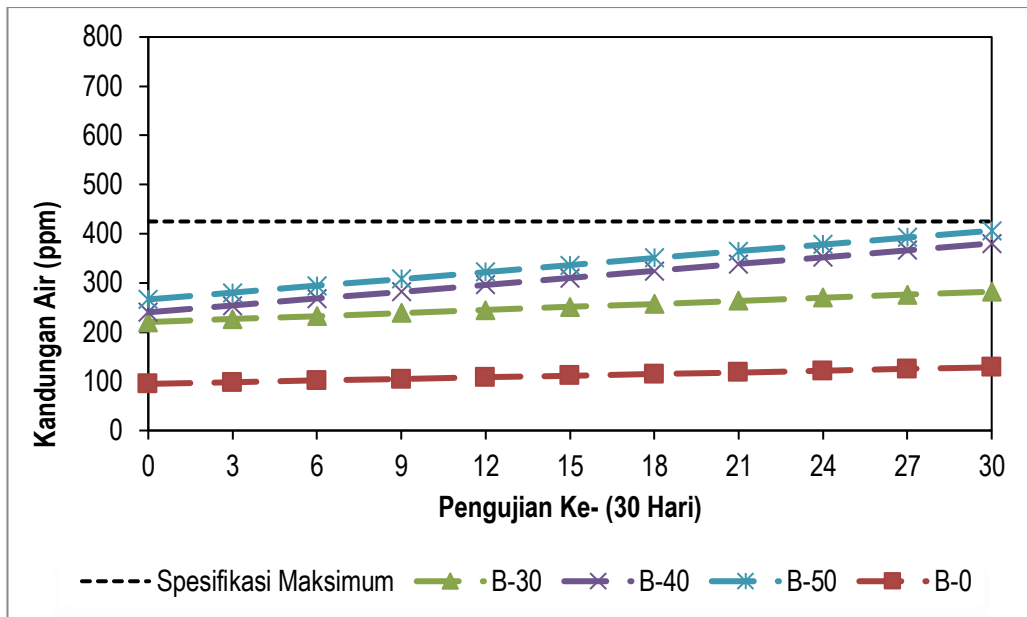
Hasil pengujian karakteristik lebih lanjut menunjukkan B-40 memiliki kandungan air sebesar 211,7 ppm dan bilangan asam total sebesar 0,20 mg KOH/g. Sementara itu, kestabilan oksidasi B-40 sebesar 51,3 jam, untuk parameter *cold-flow properties* titik kabut sebesar 11,3 °C; titik tuang sebesar 12 °C. Sedangkan pengujian karakteristik B-50 memiliki kandungan air sebesar 238,9 ppm dan bilangan asam total sebesar 0,22 mg KOH/g. Sementara itu, kestabilan oksidasi B-50 sebesar 49,7 jam, untuk parameter *cold-flow properties*, titik kabut sebesar 11,7 °C; titik tuang sebesar 12 °C. Hal tersebut menunjukkan bahwa B-40 dan B-50 mempunyai karakteristik yang hampir mirip dengan B-30 yang memiliki kandungan air sebesar 181,9 ppm dan bilangan asam total sebesar 0,16 mg KOH/g.

2.3.2. Stabilitas Penyimpanan Bahan Bakar B-40 dan B-50

Bahan bakar yang digunakan pada uji stabilitas penyimpanan ini antara lain B-0, B-30, B-40, B-50 dan B-100. Pada uji stabilitas penyimpanan ditujukan untuk melihat perubahan terhadap kualitas dan mutu bahan bakar seiring pertambahan waktu penyimpanan bahan bakar. Pengujian dilakukan selama 1 bulan dengan interval pengujian karakteristik bahan bakar setiap hari. Karakteristik bahan bakar yang dianalisis antara lain Kandungan Air, Viskositas Kinematik, Angka Asam dan Stabilitas Oksidasi.

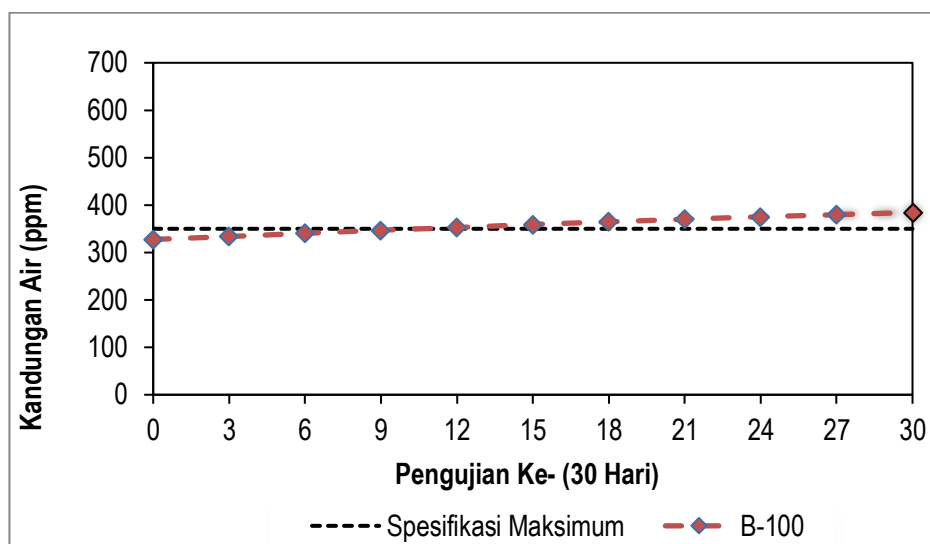
2.3.2.1. Kandungan Air

Keberadaan air di dalam bahan bakar minyak akan menyebabkan turunnya panas pembakaran, bersifat korosif, dan menurunkan sifat lubrisitas. Pada suhu rendah, air dapat mengkristal sehingga menyumbat saluran bahan bakar. Kandungan air bebas dapat mempercepat laju oksidasi dan membantu pertumbuhan mikroorganisme (Environment Canada, 2006). Oleh karena itu, pemerintah membatasi kandungan air dalam Minyak Solar 48 untuk Tahun 2019 menjadi maksimum 425 ppm dan kandungan air dalam Biodiesel untuk Tahun 2019 menjadi maksimum 350 ppm.



Gambar 18. Perbandingan Hasil Pengujian Kandungan Air Stabilitas Penyimpanan

Pada Pengujian Stabilitas Penyimpanan selama 30 Hari, dilakukan pengujian terhadap parameter kandungan air. Hasil pengujian kandungan air dapat dilihat pada Gambar 18. Gambar tersebut menunjukkan perbandingan kandungan air pada stabilitas penyimpanan antara B-0, B-30, B-40, dan B-50. Pada bahan bakar B-0 menunjukkan kandungan air tidak mengalami kenaikan, sedangkan pada bahan bakar formulasi B-XX mengalami kenaikan, tetapi masih memenuhi standar dan mutu (spesifikasi) dengan batas maksimum 425 ppm.



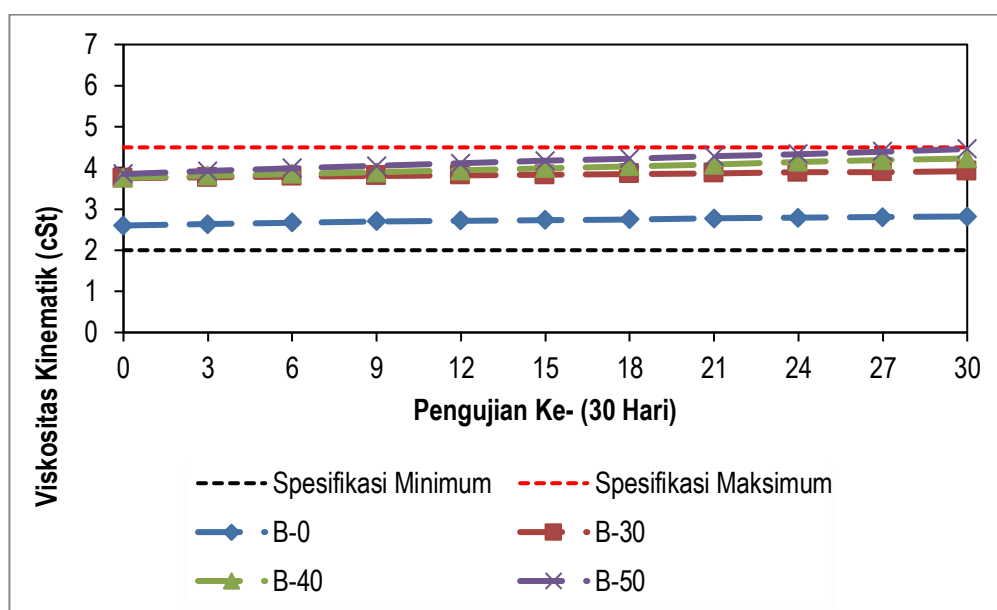
Gambar 19. Hasil Pengujian Kandungan Air B100

Sedangkan pengujian kandungan air pada bahan bakar B-100 dapat dilihat pada gambar 19. Gambar tersebut menunjukkan hasil uji parameter kandungan air

bahan bakar B-100 pada pengujian stabilitas penyimpanan. Pada bahan bakar B-100 menunjukkan kandungan air mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu penyimpanan, serta terdapat hasil yang melebihi standar mutu (spesifikasi) yaitu maksimum 350 ppm. Kenaikan kandungan air bahan bakar B-100 pada pengujian stabilitas penyimpanan dapat disebabkan karena sifat biodiesel (B-100) yang higroskopis atau mudah menyerap air dari lingkungan sekitar.

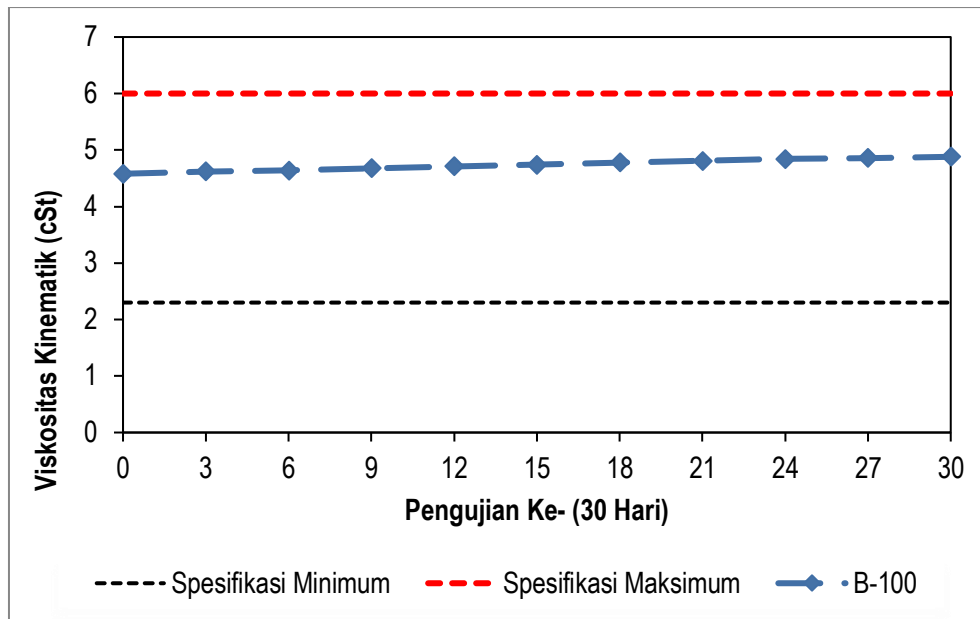
2.3.2.2. Viskositas Kinematik

Penambahan Biodiesel pada bahan bakar campuran minyak solar dapat mempengaruhi nilai viskositas, dengan formulasi yang saat ini sudah menjadi B-30 yaitu 30% Biodiesel maka perubahan viskositas akan berpengaruh terhadap karakteristik. Bertambahnya kuantitas biodiesel pada campuran bahan bakar minyak solar harus memenuhi standar kualitas dari B-30 dan selama waktu penyimpanan bahan bakar harus tetap memenuhi standar tersebut.



Gambar 20. Perbandingan Hasil Pengujian Viskositas Stabilitas Penyimpanan

Pada Pengujian Stabilitas Penyimpanan selama 30 Hari, dilakukan pengujian terhadap parameter viskositas kinematik. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 20. Gambar tersebut menunjukkan perbandingan viskositas kinematik pada stabilitas penyimpanan antara B-0, B-30, B-40, dan B-50, dimana pada 4 jenis formulasi bahan bakar tersebut setiap penambahan waktu penyimpanan cenderung naik, tetapi masih di dalam batasan standar dan mutu (spesifikasi) dengan nilai 2,0 Cst – 4,5 Cst.

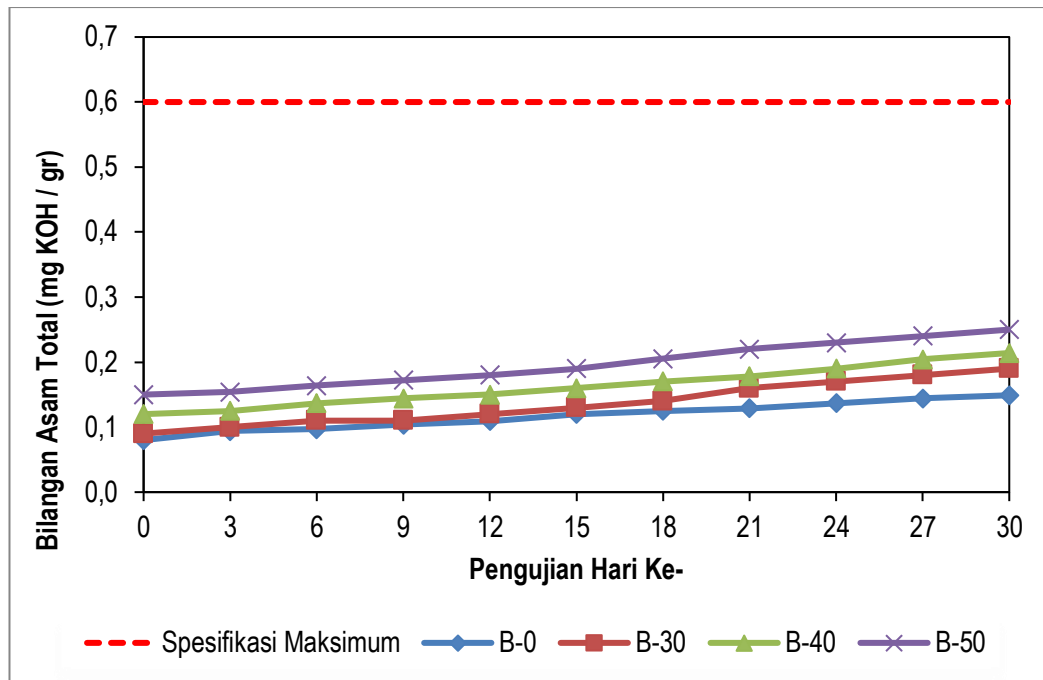


Gambar 21. Hasil Pengujian Viskositas B100

Pada bahan bakar B-100 didapatkan hasil viskositas kinematik seperti gambar 21. Gambar tersebut menunjukkan nilai viskositas kinematik pada bahan bakar B-100 selama penyimpanan 30 hari. Pada bahan bakar B-100 hasil yang didapatkan terhadap bertambahnya waktu mengalami kenaikan nilai viskositas.

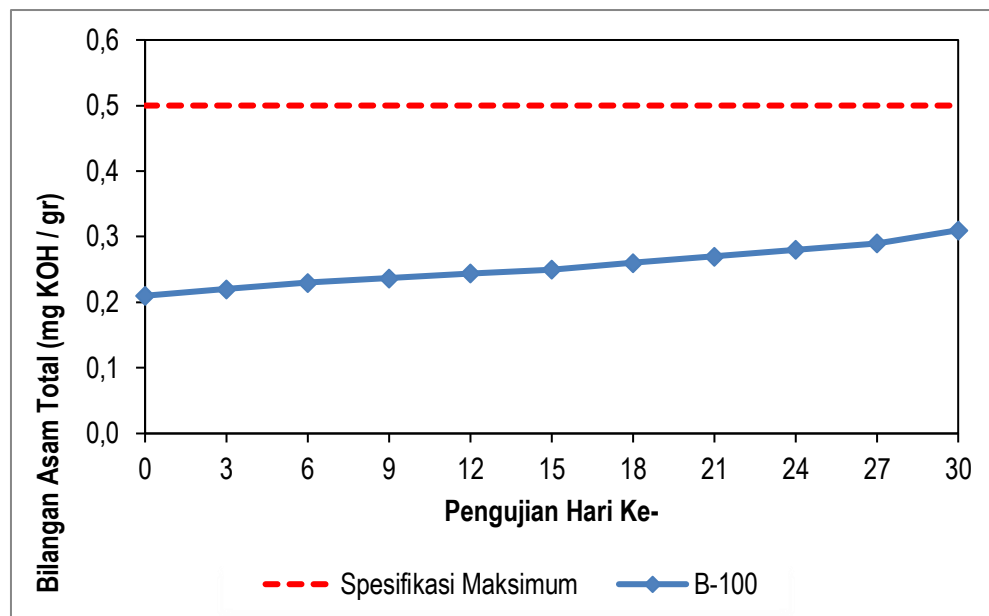
2.3.2.3. Angka Asam

Angka Asam pada bahan bakar menjadi sangat penting karena konsentrasi asam yang tinggi dapat merusak seal dan selang yang rata-rata terbuat dari karet. Asam juga bersifat korosif terhadap logam, sehingga kandungan asam yang tinggi dapat merusak peralatan yang terbuat dari logam. Angka asam dalam produk biodiesel menunjukkan baik atau tidaknya proses produksinya. Metode pengujian yang digunakan adalah ASTM D 664.



Gambar 22. Perbandingan Hasil Pengujian Angka Asam Stabilitas Penyimpanan

Hasil pengujian angka asam dari B-0, B-30, B-40, dan B-50 dapat dilihat pada Gambar 22. Gambar tersebut menunjukkan perbandingan angka asam pada stabilitas penyimpanan antara B-0, B-30, B-40, dan B-50. Pengujian stabilitas penyimpanan selama 30 hari, menunjukkan kenaikan angka asam pada B-0, B30, B40, dan B-50, masih memenuhi standar dan mutu (spesifikasi) dengan batas maksimum 0,6 mg KOH/gr.



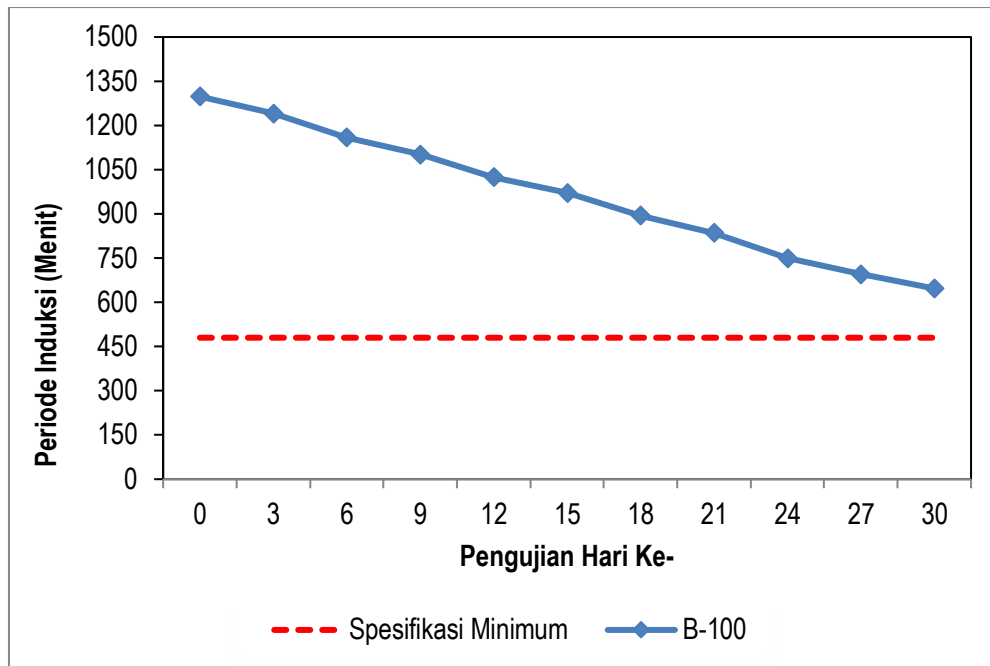
Gambar 23. Hasil Pengujian Angka Asam B100

Pengujian angka asam pada B-100 dapat dilihat pada Gambar 23. Menunjukkan angka asam B-100 mengalami kenaikan selama penyimpanan 30 hari. Kenaikan angka asam yang terjadi masih memenuhi standar dan mutu (spesifikasi) dengan batas maksimum 0,5 mg KOH/gr.

2.3.2.4. Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi adalah pengujian untuk menentukan derajat kerusakan pada minyak dan lemak. Asam lemak tidak jenuh dapat mengikat oksigen pada ikatan rangkapnya sehingga membentuk peroksida yang dapat meningkatkan derajat kerusakan. Stabilitas oksidasi merupakan parameter terpenting karena sangat berpengaruh terhadap operasional mesin jangka pendek & jangka panjang. Penurunan stabilitas oksidasi terjadi akibat adanya reaksi antara sejumlah oksigen dengan minyak atau lemak. Terjadinya reaksi oksidasi tersebut akan mengakibatkan bau tengik pada minyak dan lemak.

Oksidasi biasanya dimulai dengan pembentukan peroksida dan hidroperoksida. Tingkat selanjutnya ialah terurainya asam-asam lemak disertai dengan konversi hidroperoksida menjadi aldehid dan keton serta asam-asam lemak bebas. Molekul asam yang terdeteksi pada pengukuran stabilitas oksidasi adalah aldehid bukan oleh peroksida. Jadi kenaikan stabilitas oksidasi hanya sebagai indikator dan peringatan bahwa kualitas bahan bakar tersebut menurun (Christensen & McCormick, 2014). Pada pengujian Stabilitas Oksidasi digunakan alat Rancimat dengan metode EN 15751.



Gambar 24. Hasil Pengujian Stabilitas Oksidasi B100

Hasil pengujian stabilitas oksidasi menggunakan alat Rancimat dapat dilihat pada Gambar 24. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa bahan bakar B-100 mengalami penurunan pada nilai stabilitas oksidasi. Penurunan nilai stabilitas oksidasi ini terjadi karena terjadi reaksi oksidasi pada sampel selama penyimpanan.

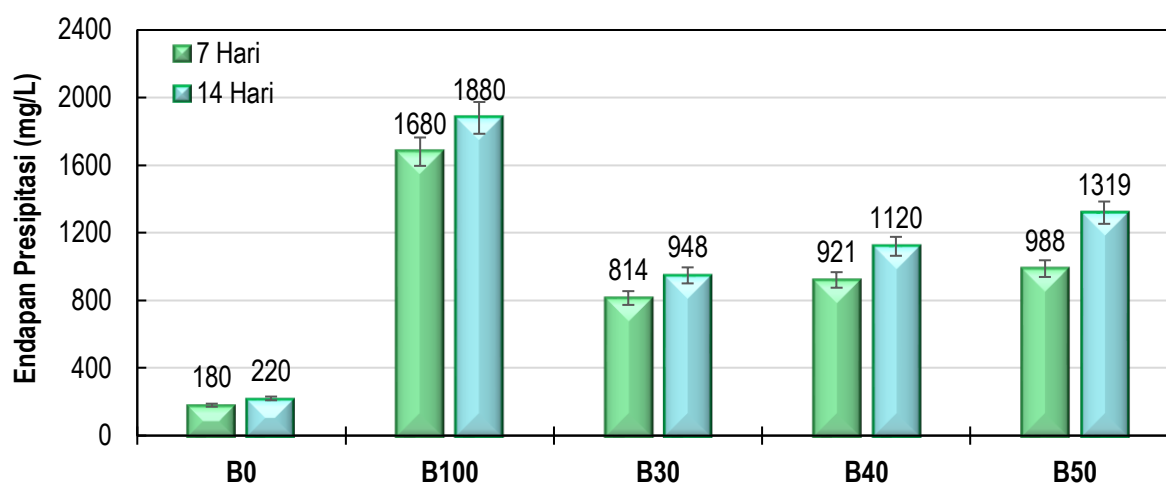
Komoditi	Awal (Hari ke-0)	Akhir (Hari ke-30)
B-0	>48	>48
B-30	>48	>48
B-40	>48	>48
B-50	>48	>48

Tabel 12. Hasil Pengujian Stabilitas Oksidasi B-0, B-30, B-40, dan B-50

Sedangkan nilai stabilitas oksidasi B-0, B-30, B-40, dan B-50 lebih besar dibandingkan nilai stabilitas oksidasi B-100 seperti dapat dilihat pada tabel 14. Tabel tersebut menunjukkan di hari pertama sampai hari terakhir penyimpanan B-0, B-30, B-40, dan B-50 nilai stabilitas oksidasinya lebih dari 48 jam.

2.3.3. Pengaruh Pengkondisian Dingin terhadap Presipitasi B-40 dan B-50

Presipitasi pada bahan bakar merupakan proses pembentukan padatan yang terpisah dari fasa cairnya seiring penurunan temperatur. Pengujian ini dilakukan dengan metode acuan ASTM D 7501 (*Standard Test Method for Determination of Fuel filter Blocking Potential of Biodiesel Blend Stock by Cold Soak Filtration Test*) dengan beberapa modifikasi waktu dan temperatur untuk mengukur endapan presipitasi yang terbentuk. Pada biodiesel, kandungan monogliserida jenuh (SMG) berpotensi menyebabkan presipitasi pada kondisi operasi temperatur



Gambar 25. Perbandingan Hasil Pengujian Presipitasi

rendah. SMG membentuk padatan terpisah dari fasa cairnya (biodiesel) pada temperatur dibawah titik kabut biodiesel. Presipitasi pada produk biodiesel dari kelapa sawit menghasilkan endapan putih yang terpisah / tidak larut dari fasa cairnya (Bondioli *et al.* 2008). Tang *et al.* (2008) menyatakan bahwa kandungan residu padat dari *soy methyl ester* (SME) adalah *free steryl glucoside* (FStG). Selain itu, monopalmitin dan monostearin juga berpengaruh terhadap kuantitas endapan yang dihasilkan pada presipitasi temperatur rendah. Kandungan monostearin dan temperatur rendah juga mempengaruhi presipitasi pada biodiesel berbasis sawit dan campurannya dengan minyak solar (Paryanto *et al.* 2018). Semakin rendah pengkondisian temperatur dan semakin tinggi kandungan monostearin menghasilkan presipitat yang lebih tinggi.

Pada penelitian ini, bahan bakar B40 dan B50 dianalisis potensinya terhadap pembentukan presipitasi pada temperatur rendah ($T = 15^{\circ}\text{C}$). Waktu presipitasi yang dilakukan adalah 7 hari dan 14 hari. Hasil pengujian presipitasi bahan bakar

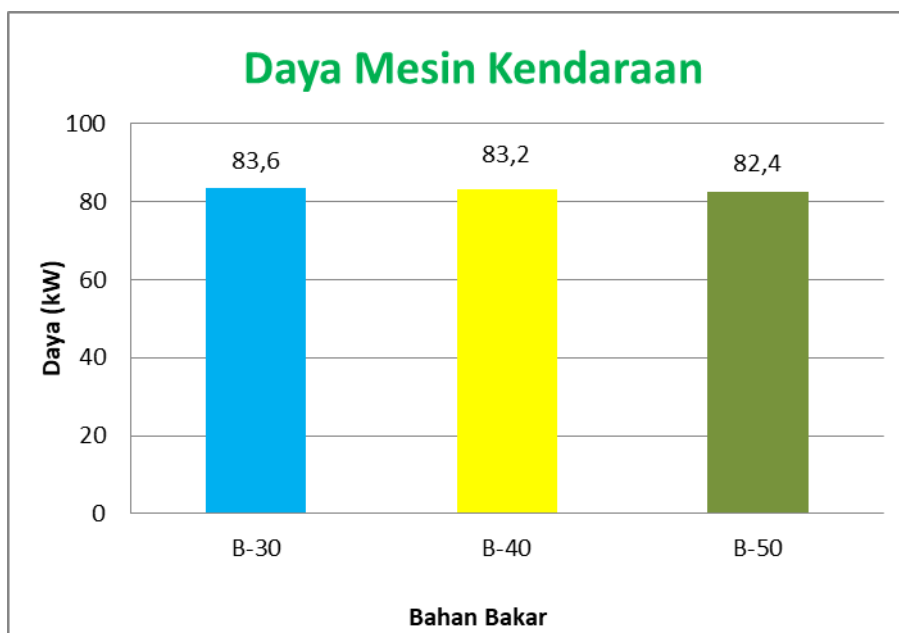
B40 dan B50 dibandingkan dengan bahan bakar B30 dan B0 ditunjukkan pada Gambar 16. Berdasarkan gambar tersebut, seiring meningkatnya waktu pengkondisian, maka endapan presipitasi yang dihasilkan semakin meningkat. Selama 7 hari pengkondisian, B0 menghasilkan endapan presipitasi sebesar 180 ppm. Pengkondisian 14 hari menyebabkan peningkatan endapan presipitasi B0 menjadi 220 ppm. Sementara itu, B100 memiliki presipitasi antara 1680 ppm hingga 1880 ppm seiring waktu pengkondisian hingga 14 hari. Peningkatan konsentrasi biodisel pada minyak solar, menyebabkan peningkatan endapan presipitasi yang terbentuk. B30 menghasilkan endapan presipitasi sebesar 814 ppm pada pengkondisian 7 hari dan 948 ppm pada pengkondisian 14 hari. Sementara itu B40 menghasilkan endapan presipitasi sebesar 921 ppm pada pengkondisian 7 hari dan 1120 ppm pada pengkondisian 14 hari. Begitu pula dengan B50 yang mengandung endapan presipitasi sebesar 988 ppm (7 hari) dan 1319 ppm (14 hari). Secara berurutan, endapan presipitasi yang dihasilkan B30 < B40 < B50.

2.3.4. Unjuk Kerja Bahan Bakar B-40 dan B-50

2.3.4.1. Hasil Uji Kinerja Terbatas Mesin Kendaraan Uji 1

1. Daya Maksimum

Pengukuran daya maksimum mesin kendaraan uji pada bangku uji *chassis* didapatkan dengan memberikan pembebanan pada kendaraan uji. Pembebanan dilakukan dari mulai beban ringan hingga beban maksimum. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *chassis dynamometer* yang menggunakan beban dimulai dari 2000 rpm. Hasil pengukuran daya mesin untuk kendaraan uji 1 dapat dilihat pada gambar 26 di bawah ini.

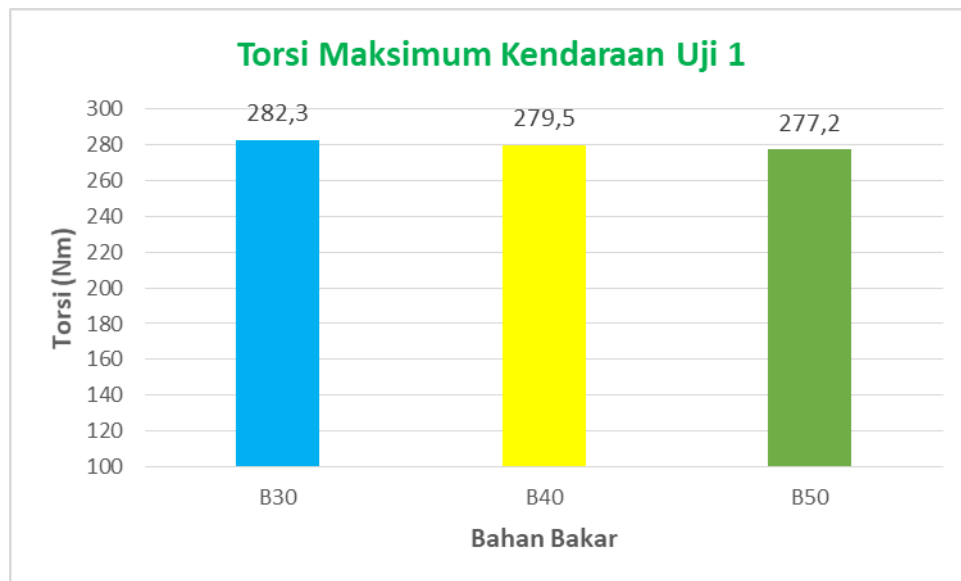


Gambar 26. Grafik Hasil Uji Daya Maksimum Mesin Kendaraan Uji 1 di *Chassis Dynamometer*

Pada gambar 26, terlihat bahwa pada pengukuran daya penuh dengan bahan bakar B30 didapatkan daya maksimum sebesar 83,6kW sedangkan untuk bahan bakar B40 daya maksimum mencapai 83,2 kW, dan bahan bakar B50 daya maksimum mencapai 82,4 kW. Jika dibandingkan dengan bahan bakar B30, penggunaan bahan bakar B40 mengakibatkan terjadinya penurunan daya maksimum sampai 0,47% dan penggunaan bahan bakar B50 dapat mengakibatkan penurunan daya maksimum sampai 1,43%. Hal ini dimungkinkan karena nilai kalor dari bahan bakar B40 dan B50 lebih rendah jika dibandingkan nilai kalor dari bahan bakar B30.

2. Torsi Maksimum

Pengukuran torsi maksimum mesin kendaraan uji pada bangku uji *chassis* didapatkan dengan memberikan pembebanan pada kendaraan uji. Torsi maksimum pada kendaraan uji 1 terjadi pada putaran 2000 rpm. Hasil pengujian torsi maksimum pada kendaraan uji 1 dapat dilihat pada gambar 27 di bawah ini.



Gambar 27. Grafik Hasil Uji Torsi Maksimum Kendaraan Uji 1 di *Chassis Dynamometer*

Terlihat pada gambar 27 diatas, seiring dengan penambahan campuran biodiesel (B100) pada bahan bakar solar murni (B0) maka torsi maksimum akan cenderung menurun. Jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar B30, penggunaan bahan bakar B40 dan B50 pada kendaraan mesin uji 1 membuat torsi turun sampai 0,99% dan 1,81%. Hal ini dikarenakan nilai kalor dari B40 dan B50 lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai kalor dari bahan bakar B30.

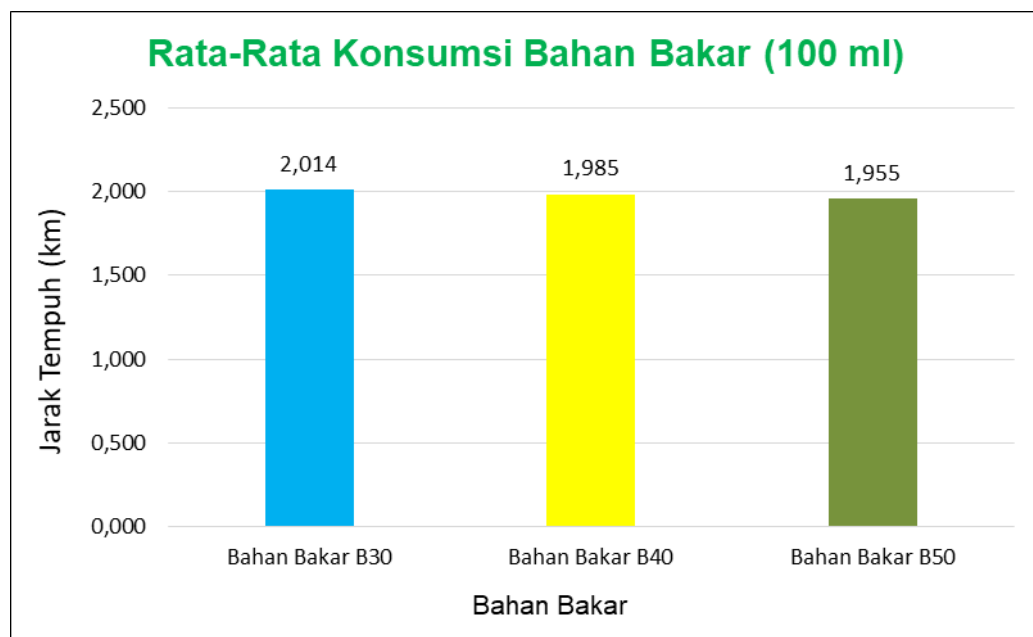
3. Konsumsi Bahan Bakar

Selain uji daya dan torsi mesin kendaraan uji, pengujian konsumsi bahan bakar juga dilaksanakan dalam uji kinerja terbatas mesin pada kegiatan ini. Pelaksanaan pengujian konsumsi bahan bakar di bangku uji *chassis dynamometer* berdasarkan SNI 7554 Tahun 2010 yang mengacu pada UN ECE R84. Pengukuran konsumsi bahan bakar berdasarkan metode urban dan kecepatan 30, 50, 70, 90 km/jam berdasarkan konsumsi bahan bakar *volumetric* ukuran 100ml. Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar di *Chassis Dynamometer* dapat dilihat pada gambar 28 di bawah ini.

Tabel 13. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Uji 1

Kecepatan (km/jam)	Jarak Tempuh Untuk Konsumsi 100 ml Bahan Bakar (km)		
	Bahan Bakar B30	Bahan Bakar B40	Bahan Bakar B50
30	1,113	1,090	1,090
50	2,242	2,210	2,190
70	2,484	2,440	2,400
90	2,215	2,200	2,140

Berdasarkan tabel 15 di atas, kemudian dibuat perbandingan rata – rata konsumsi masing – masing formulasi bahan bakar seperti pada gambar 28 di bawah ini.



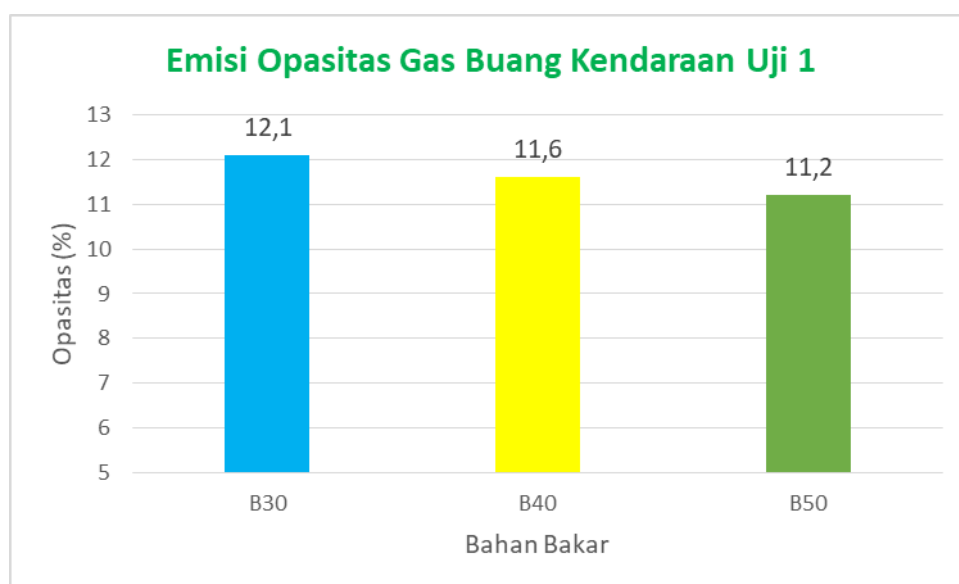
Gambar 28. Grafik Hasil Uji Konsumsi Bahan Bakar Rata - Rata dalam 100 ml/menit Pada Kendaraan Uji 1

Berdasarkan gambar 28 terlihat bahwa konsumsi bahan bakar kendaraan yang menggunakan bahan bakar B-50 di *chassis dynamometer* mempunyai kecenderungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar kendaraan yang menggunakan B-30 dan B-40. Jarak tempuh yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar B-50 dalam 100 ml turun sampai

2,92% dibandingkan bahan bakar B-30. Sedangkan jarak tempuh yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar B40 jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar B30 tidak terjadi perbedaan yang signifikan karena hanya turun sampai 1,44%. Hal ini dikarenakan nilai kalor dan daya yang dihasilkan akibat penggunaan bahan bakar B40 dan B50 lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar B30, sehingga untuk mencapai kilometer yang sama akan dibutuhkan bahan bakar B40 dan B50 lebih banyak dibandingkan bahan bakar B30.

4. Emisi Opasitas Gas Buang

Emisi gas buang otomotif adalah penyebab utama dari polusi udara dan memiliki peran dominan terhadap pembentukan asap kabut. Dari hasil proses pembakaran bahan bakar dalam motor diesel menimbulkan asap yang lebih gelap dibandingkan dengan motor bensin. Pengukuran emisi opasitas yang merupakan tingkat kepekatan asap (*smoke*) emisi gas buang kendaraan dilakukan dengan metode akselerasi dan tanpa kecepatan. Hasil dari uji emisi opasitas asap dari gas buang kendaraan uji 1 di tampilkan pada gambar 29 di bawah ini.



Gambar 29. Grafik Hasil Uji Emisi Opasitas Gas Buang Kendaraan Uji 1

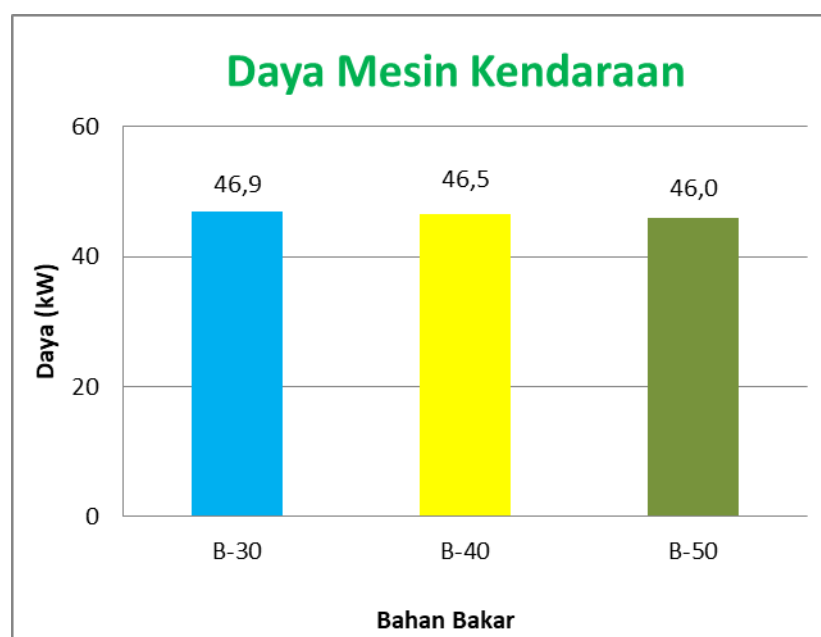
Berdasarkan gambar 29 di atas, terlihat jika penambahan persentase penggunaan campuran biodiesel ke dalam bahan bakar solar murni membuat emisi opasitas gas buang kendaraan semakin menurun atau

semakin membaik. Penurunan nilai opasitas penggunaan bahan bakar B-40 dan B-50 pada kendaraan uji 1 sebesar 4,13% dan 7,43% jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar B-30. Hal ini dimungkinkan karena semakin banyak campuran biodiesel yang digunakan maka akan semakin banyak kandungan oksigen dalam bahan bakar campuran tersebut yang membuat nilai *cetane number* semakin tinggi sehingga pembakaran akan menjadi lebih baik. Dengan pembakaran yang semakin baik, maka kepekatan asap (opasitas) gas buang kendaraan uji 1 menjadi lebih baik.

2.3.4.2. Hasil Uji Kinerja Terbatas Mesin Kendaraan Uji 2

1. Daya Maksimum

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *chassis dynamometer* yang menggunakan beban dimulai dari 2000 rpm. Pada gambar 30 dapat dilihat hasil pengukuran daya maksimum pada pengujian daya mesin untuk kendaraan uji 2 dengan 3 jenis formulasi bahan bakar yaitu B-30, B-40 dan B-50.



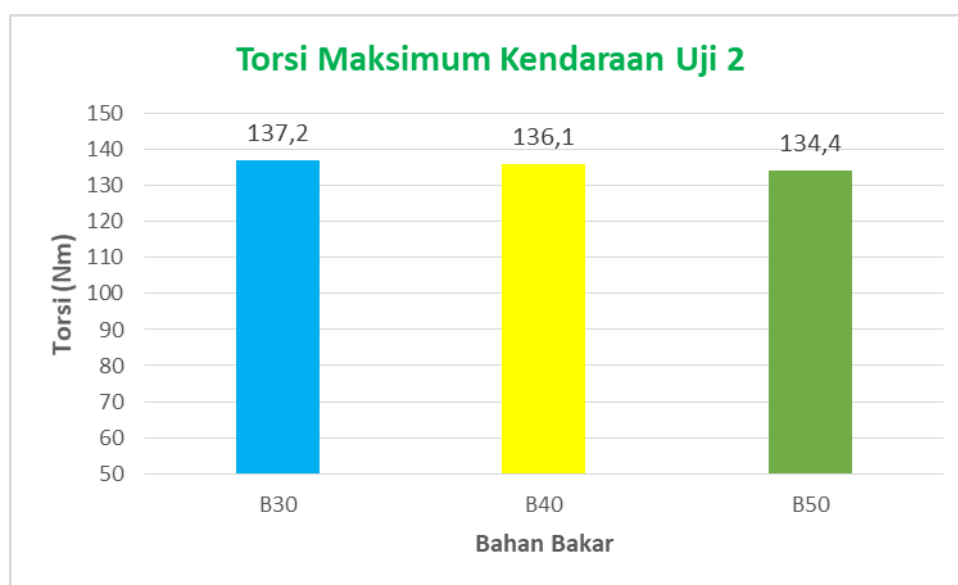
Gambar 30. Grafik Hasil Uji Daya Maksimum Kendaraan uji 2 di *Chassis Dynamometer*

Dari hasil pengukuran daya penuh, bahan bakar B-30 didapatkan daya penuh mencapai 46,9kW, sedangkan untuk bahan bakar B-40 daya penuh mencapai 46,5kW, dan bahan bakar B-50 daya penuh mencapai 46,0kW.

Dengan membandingkan hasil daya maksimum yang didapatkan pada kendaraan uji 2 antara bahan bakar B-40 dan B-50 terhadap bahan bakar B-30 didapatkan bahwa penggunaan B-40 membuat daya maksimum mesin turun sampai 0,85%, sedangkan penggunaan bahan bakar B-50 membuat daya maksimum mesin turun sampai 1,91%. Hal ini dimungkinkan karena nilai kalor dari bahan bakar B-40 dan B-50 lebih rendah jika dibandingkan nilai kalor dari bahan bakar B-30.

2. Torsi Maksimum

Pengukuran torsi maksimum mesin kendaraan uji pada bangku uji *chassis* didapatkan dengan memberikan pembebanan pada kendaraan uji. Torsi maksimum pada kendaraan uji 2 terjadi pada putaran 2000 rpm. Hasil pengujian torsi maksimum pada kendaraan uji 2 dengan menggunakan bahan bakar B-40 dan B-50 yang dibandingkan dengan bahan bakar reference yaitu bahan bakar B-30 dapat dilihat pada gambar 31 di bawah ini.



Gambar 31. Grafik hasil Uji Torsi Maksimum Kendaraan Uji 2 di *Chassis Dynamometer*

Semakin besar persentase campuran biodiesel (B100) pada penggunaan bahan bakar campuran antara minyak solar B0 dengan Minyak Biodiesel (B100) akan menyebabkan torsi cenderung menurun seperti terlihat pada gambar 22. Torsi maksimum kendaraan uji 2 menggunakan bahan bakar B40 turun sampai 0,87% dan menggunakan bahan bakar B50 turun sampai

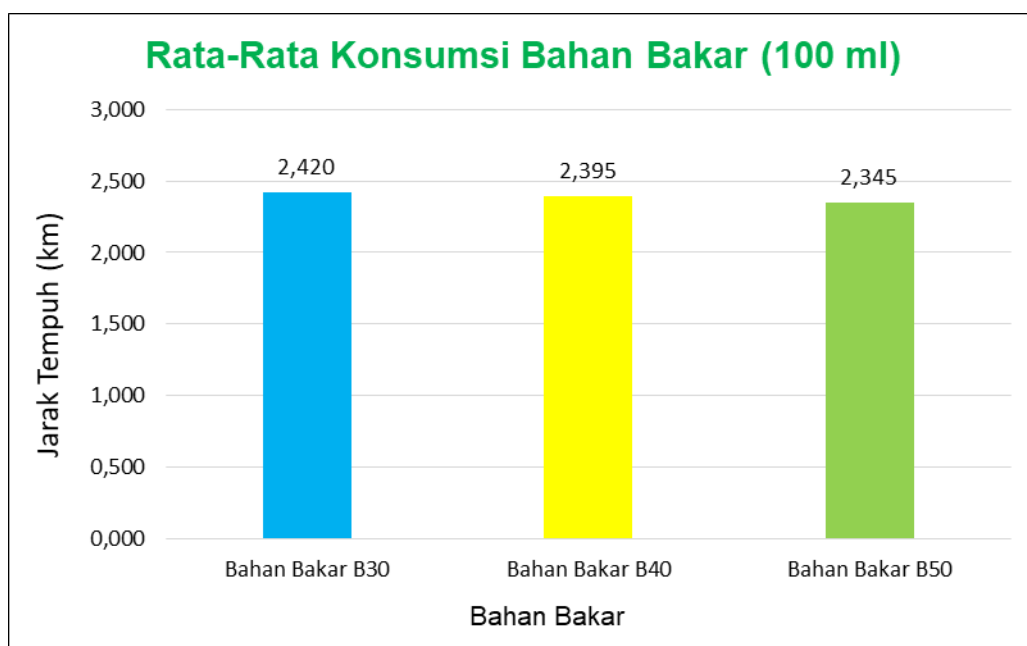
2,04% jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar B30. Penurunan torsi ini diakibatkan oleh nilai kalor B40 dan B50 yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai kalor B30.

3. Konsumsi Bahan Bakar

Selain uji daya dan torsi mesin kendaraan uji, pengujian konsumsi bahan bakar juga dilaksanakan dalam uji kinerja terbatas pada kegiatan ini. Pelaksanaan pengujian konsumsi bahan bakar di bangku uji *chassis dynamometer* berdasarkan SNI 7554 Tahun 2010 yang mengacu pada UN ECE R84. Pengukuran konsumsi bahan bakar berdasarkan metode urban dan kecepatan 30, 50, 70, 90 km/jam berdasarkan konsumsi bahan bakar volumetric ukuran 100ml. Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar di Chassis Dynamometer dapat dilihat pada tabel 16 dan hasil konsumsi rata – rata bahan bakar dapat dilihat pada gambar 32.

Tabel 14. Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Uji 2

Kecepatan (km/jam)	Jarak Tempuh Untuk Konsumsi 100 ml Bahan Bakar (km)		
	Bahan Bakar B30	Bahan Bakar B40	Bahan Bakar B50
30	1,510	1,490	1,450
50	2,530	2,500	2,420
70	3,210	3,190	3,160
90	2,430	2,400	2,350

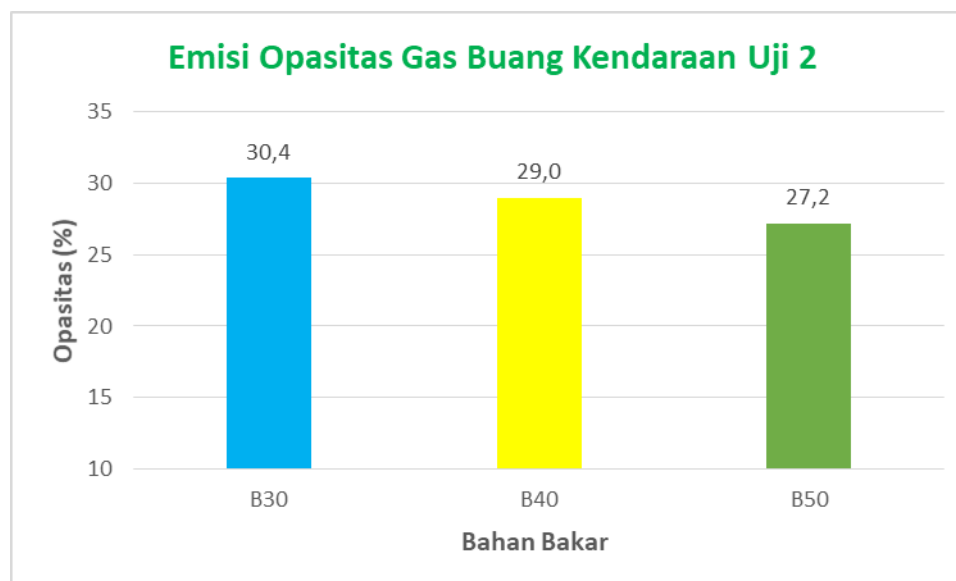


Gambar 32. Grafik Hasil Uji Konsumsi Bahan Bakar dalam 100 ml/menit Pada Kendaraan Uji 2

Terlihat bahwa konsumsi bahan bakar kendaraan yang menggunakan bahan bakar B40 dan B50 di *chassis dynamometer* mempunyai kecenderungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar kendaraan yang menggunakan B30. Jarak tempuh yang dihasilkan oleh kendaraan uji 2 dengan bahan bakar B50 menurun sampai 3,09% dibandingkan bahan bakar B-30. Sedangkan untuk perbandingan jarak tempuh kendaraan uji 2 antara berbahan bakar B40 dengan berbahan bakar B30 mengalami penurunan sampai 1,03%. Penurunan konsumsi bahan bakar ini dikarenakan daya dari penggunaan bahan bakar B40 dan B50 lebih kecil dibandingkan dengan daya bahan bakar B30 pada kendaraan uji 2, sehingga untuk mencapai jarak tempuh yang sama, bahan bakar B40 dan B50 membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak dari pada B30.

4. Emisi Opasitas Gas Buang

Pengukuran emisi opasitas yang merupakan tingkat kepekatan asap (*smoke*) emisi gas buang kendaraan dilakukan dengan metode akselerasi dan tanpa kecepatan. Hasil dari uji emisi opasitas asap dari gas buang kendaraan uji 2 menggunakan bahan bakar B-30, B-40 dan B-50 dapat dilihat pada gambar 33 di bawah ini.



Gambar 33. Grafik Hasil Uji Emisi Opasitas Gas Buang Kendaraan Uji 2

Peningkatan persentase campuran biodiesel akan membuat emisi opasitas gas buang menjadi lebih baik seperti terlihat pada gambar 33. Nilai emisi opasitas gas buang kendaraan uji 2 dengan bahan bakar B-40 turun sampai 4,6% jika dibandingkan dengan nilai opasitas dari penggunaan bahan bakar B-30. Sedangkan penggunaan bahan bakar B-50 pada kendaraan uji 2 membuat nilai opasitas turun sampai 10,52% jika dibandingkan dengan nilai opasitas bahan bakar B30. Perbaikan nilai emisi opasitas gas buang ini dikarenakan nilai angka *cetane number* (CN) dari B-40 dan B-50 lebih tinggi sehingga pembakarannya akan menjadi lebih baik dari bahan bakar B-30. Pembakaran yang lebih baik ini mengakibatkan kepekatan asap pada kendaraan uji 2 membaik karena nilai opasitasnya turun.

2.4 Sosialisasi Pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-50

Badan Layanan Umum “LEMIGAS” melakukan *Opening Media Center* Biodiesel B-40 yang bertempat di Gedung KPPP Teknologi Aplikasi Produk dan melakukan *press conference* kepada media massa untuk mengenalkan tentang Biodiesel B-40 pada tanggal 26 agustus 2020. Acara ini dihadiri oleh beberapa *stakeholder* dan media massa yang bertujuan untuk mengenalkan Pemanfaatan Biodiesel B-40 kepada masyarakat umum. Peran media massa sangat penting untuk membantu menyebarkan berita terkait Pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-

50. Diharapkan dengan adanya pemberitaan tentang Pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-50 oleh media massa, masyarakat lebih cepat mengetahui tentang program ini dan mengetahui sudah sampai mana progress dari kegiatan pemanfaatan biodiesel B-40 dan B-50 ini. Di masa pandemi seperti ini, peran media masa sangatlah penting dalam penyampaian informasi publik karena masyarakat cenderung lebih aktif membaca berita melalui media elektronik.



Gambar 34. Sosialisasi Pada Forum Media Massa

Pelaksanaan kegiatan sosialisasi pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-50 bertujuan untuk mengenalkan pemanfaatan Biodiesel sebagai Energi Baru Terbarukan dan merupakan program unggulan dari Pemerintah untuk jangka waktu beberapa tahun kedepan. Pada sosialisasi ini disampaikan tentang Bahan Bakar B-40 dan B-50 mulai dari bahan baku pembuatannya, proses pembuatan, aplikasi penggunaannya saat ini dan hal-hal yang melatarbelakangi penggunaan Biodiesel sebagai campuran Minyak Solar untuk sektor Industri, Alat Berat, Kereta Api dan juga Alat Pertanian. Selain untuk melakukan sosialisasi kegiatan ini juga untuk mengetahui penggunaan B-40 dan B-50 pada kendaraan roda empat berbahan bakar diesel yang dalam kehidupan sehari-hari tidak terlepas dari Minyak Solar.

Sosialisasi dilakukan sebagai upaya untuk :

1. Mengenalkan pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-50 kepada masyarakat umum.
2. Melakukan koordinasi dengan *stakeholder* tentang penggunaan dan pemanfaatan Biodiesel B-40 dan B-50 agar lebih dikenal oleh masyarakat umum.

Output yang dihasilkan :

1. Pemahaman Masyarakat tentang pemanfaatan Biodiesel khususnya B-40 dan B-50
2. Masyarakat mengetahui tujuan dari program Pemanfaatan Biodiesel, yaitu :
 - Memenuhi komitmen Pemerintah untuk mengurangi emisi GRK sebesar 29% dari BAU pada 2030;
 - Meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi;
 - Stabilisasi harga CPO;
 - Meningkatkan nilai tambah melalui hilirisasi industri kelapa sawit;
 - Memenuhi target 23% kontribusi EBT dalam total energi mix pada 2025;
 - Mengurangi konsumsi dan impor BBM;
 - Mengurangi emisi GRK; dan
 - Memperbaiki defisit neraca perdagangan.

Kegiatan sosialisasi ini diadakan di dua tempat yaitu di Kota Tegal, Provinsi Jawa Tengah dan juga Kota/Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. Kegiatan sosialisasi pemanfaatan B-40 dan B-50 menggunakan dua mobil berbahan bakar diesel yaitu Toyota Innova dan Isuzu Pick Up. Di Kota Tegal, tim mengadakan sosialisasi di Kecamatan Tegal Timur. Sedangkan di Kota/Kabupaten Bandung tim mengadakan sosialisasi di Wisma Balitsa, Lembang. Selain mengadakan sosialisasi, mobil uji yang digunakan diberikan stiker Uji Coba B-40. Hal ini dilakukan agar selama perjalanan masyarakat yang melihat mengetahui bahwa penggunaan dan pemanfaatan B-40 sedang dilakukan. Diharapkan dengan cara seperti ini ketika pada tahap implementasi nanti, masyarakat dan *stakeholder* sudah mengetahui tentang program ini sehingga dapat diterima dengan baik oleh pihak-pihak terkait.





Gambar 35. Sosialisasi Di Tegal dan Bandung

BAB 3

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, penggunaan campuran biodiesel lebih dari 30% sangat tepat diterapkan dalam percepatan pemanfaatan bahan bakar nabati di Indonesia.

Berkaitan dengan aspek teknis, peningkatan penggunaan biodiesel menjadi B-40 dan B-50 mempengaruhi karakteristik bahan bakar, potensi presipitasi bahan bakar, hingga kinerja mesin. Penggunaan B-40 dan B-50 menghasilkan bahan bakar minyak solar dengan angka setana, berat jenis, viskositas kinematik, dan sifat pelumasan yang lebih tinggi. Selain itu, B-40 dan B-50 juga dapat menghasilkan bahan bakar minyak solar dengan kandungan sulfur yang rendah. Di sisi lain, kandungan monogliserida dan ester metil jenuh dalam biodiesel menyebabkan peningkatan potensi presipitasi pada B-40 dan B-50. Potensi presipitasi pada B-40 meningkat menjadi 13-21% dan pada B-50 meningkat sebesar 18-39%, dibandingkan dengan B-30. Sifat alamiah biodiesel dengan nilai kalor yang lebih rendah, menghasilkan penurunan nilai kalor pada B-40 dan B-50, dibandingkan dengan B-30. Penurunan nilai kalor tersebut menyebabkan penurunan daya maksimum sebesar 0,50-0,85% (B-40) dan 1,4-1,9% (B-50), dibandingkan dengan B-30. Konsumsi bahan bakar juga diprediksi meningkat sebesar 1,0-1,5% (B-40) dan 3% (B-50) dibandingkan dengan B-30.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil-hasil di atas, Tim merekomendasikan beberapa hal sebagai berikut:

Pengembangan Standar dan Mutu Biodiesel

Pengembangan standar dan mutu biodiesel dilakukan untuk meminimalisir efek penggunaan campuran biodiesel dengan konsentrasi tinggi (lebih dari 30%). Beberapa parameter untuk disesuaikan kembali antara lain: kandungan air, bilangan asam total, stabilitas oksidasi, dan kandungan monogliserida.

Perumusan Standar dan Mutu B-40 dan/atau B-50

Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak solar yang beredar saat ini adalah B-30. Dalam hal implementasi B-40 dan B-50 tentunya perlu dirumuskan kembali spesifikasi untuk bahan bakar tersebut. Merujuk dari hasil karakterisasi bahan bakar, beberapa spesifikasi yang disesuaikan meliputi parameter angka setana, viskositas kinematik, kandungan sulfur, kandungan air, bilangan asam total, dan stabilitas oksidasi.

Perbaikan Batasan Mutu Monogliserida pada Spesifikasi Biodiesel

Batasan mutu maksimum kandungan monogliserida dalam biodiesel yang diusulkan adalah 0,32-0,41 %-massa (untuk implementasi B-40) dan 0,25-0,33 %-massa (untuk implementasi B-50).

Sosialisasi kepada Pabrikan Mesin terkait Pengaruh B-40 dan B-50 terhadap Daya Mesin

Batasan mutu maksimum kandungan monogliserida dalam biodiesel yang diusulkan adalah 0,32-0,41 %-massa (untuk implementasi B-40) dan 0,25-0,33 %-massa (untuk implementasi B-50).

DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2010. United States: ASTM International.
- Bacha, John et al. 2007. "Diesel Fuels Technical Review." *Chevron Global Marketing*: 1–116. www.chevron.com/products/prodserv/fuels/bulletin/diesel.
- Chupka, G. M. et al. 2011. "Effect of Saturated Monoglyceride Polymorphism on Low-Temperature Performance of Biodiesel." *Energy and Fuels* 25(1): 398–405.
- Dunn, Robert O. 2018. "Correlating the Cloud Point of Biodiesel to the Concentration and Melting Properties of the Component Fatty Acid Methyl Esters." *Energy and Fuels* 32(1): 455–64.
- Edith, Odeigah. 2012. "Factors Affecting the Cold Flow Behaviour of Biodiesel and Methods for Improvement - A Review." *Pertanika Journal of Science and Technology* 20(1): 1–14.
- Fregolente, Patricia Bogalhos Lucente, Leonardo Vasconcelos Fregolente, and Maria Regina Wolf Maclel. 2012. "Water Content in Biodiesel, Diesel, and Biodiesel-Diesel Blends." *Journal of Chemical and Engineering Data*.
- Hoekman, S. Kent et al. 2012. "Review of Biodiesel Composition, Properties, and Specifications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1): 143–69.
- Jose, Tennison K., and K. Anand. 2016. "Effects of Biodiesel Composition on Its Long Term Storage Stability." *Fuel* 177: 190–96.
- Komariah, L. N., F. Hadiah, F. Aprianjaya, and F. Nevriadi. 2018. "Biodiesel Effects on Fuel Filter; Assessment of Clogging Characteristics." *Journal of Physics: Conference Series* 1095(1).
- Paryanto, Imam, Tirto Prakoso, and Misri Gozan. 2019. "Determination of the Upper Limit of Monoglyceride Content in Biodiesel for B30 Implementation Based on the Measurement of the Precipitate in a Biodiesel–Petrodiesel Fuel Blend (BXX)." *Fuel* 258(August): 116104. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116104>.
- Paryanto, Imam, Tirto Prakoso, Bambang Heru Susanto, and Misri Gozan. 2019. "The Effect of Outdoor Temperature Conditions and Monoglyceride Content on the Precipitate Formation of Biodiesel-Petrodiesel Blended Fuel (Bxx)." *Evergreen* 6(1): 59–64.
- Tang, Haiying, Steven O. Salley, and K. Y. Simon Ng. 2008. "Fuel Properties and Precipitate Formation at Low Temperature in Soy-, Cottonseed-, and Poultry Fat-Based Biodiesel Blends." *Fuel* 87(13–14): 3006–17.
- Xiaoxiang, Jiang, and Naoko Ellis. 2010. "Upgrading Bio-Oil through Emulsification with

Biodiesel: Mixture Production.” *Energy and Fuels* 24(2): 1358–64.



**B. PENINGKATAN KUALITAS FAME
DENGAN OPTIMALISASI PROSES
UTAMA DAN PENERAPAN PROSES
SEKUNDER**

TAHUN ANGGARAN 2020

**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
BADAN LITBANG ENERGI DAN SUMBERDAYA MINERAL
PPPTMGB "LEMIGAS"**

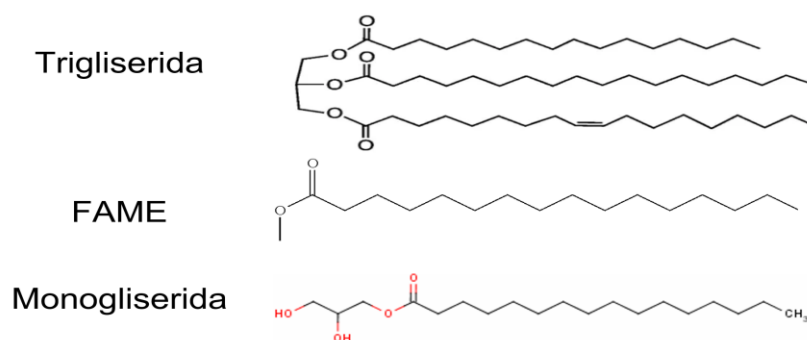
Jakarta, Oktober 2020

TIM PELAKSANA

Ketua : Muh Kurniawan
Anggota : Leni Herlina
Muhammad Fuad
Ali Rimbasa Siregar
Efa Yenti
Herizal
Syntha Nardey
Agustini
Daliya Indra S.
Dwi Supriningsih
R. Dody Septian
Bayu Ajisatrio
Sulamta
Rezki Iriansyah A.

RINGKASAN EKSEKUTIF

Salah satu keluhan yang paling sering dilaporkan dari implementasi Biodiesel B30 adalah terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar. Kandungan utama deposit pada filter yang diidentifikasi adalah monogliserida jenuh (*saturated monoglyceride*, sMG). Monogliserida (MG) merupakan impurities dalam biodiesel yang dihasilkan dari proses reaksi yang belum sempurna, yang seharusnya mengkonversi trigliserida menjadi FAME. Monogliserida memiliki titik beku lebih tinggi daripada FAME, sehingga cenderung membentuk padatan tidak larut.



Struktur molekul trigliserida, FAME, dan monogliserida jenuh.

Monogliserida tetap tinggal dalam produk biodiesel sebagai impurities dengan angka kelarutan yang rendah. Berat molekul monogliserida lebih tinggi dari FAME, sehingga titik lebur dan titik didihnya juga lebih tinggi. Dengan karakteristik demikian, monogliserida mudah terpresipitasi dari biodiesel membentuk padatan yang kemudian terakumulasi dan menyumbat filter (Paryanto et.al, 2019). Molekul monogliserida memiliki dua gugus -OH sehingga bersifat lebih higroskopis dibandingkan ester. Keberadaan air yang terserap ini memperbesar peluang berkembangnya mikroba.

Seiring dengan peningkatan kadar FAME dalam blending biosolar, pemerintah telah menetapkan spesifikasi kadar monogliserida pada FAME B100 yang semula maksimal 0.8 %wt menjadi maksimal 0.55 %wt yang berlaku saat ini. Untuk peningkatan kadar blending FAME lebih tinggi, perlu dipertimbangkan apakah perlu pengetatan lebih lanjut terkait spesifikasi monogliserida tersebut. Selain dari sisi pengaruh konsentrasi monogliserida terhadap penggunaan pada mesin, perlu

dipertimbangkan juga kemampuan pabrik biodiesel dalam membatasi kadar monogliserida dalam produknya. Sebagai perbandingan, batas maksimal kandungan monogliserida pada biodiesel di Eropa menurut standar EN14214 adalah sebesar 0.8 %wt.

Kegiatan ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses utama reaksi pembuatan biodiesel, serta mengembangkan teknik pemisahan sekunder untuk mencapai kadar monogliserida pada biodiesel sebesar 0.3 %wt. Lingkup kegiatannya terdiri dari Kegiatan Optimalisasi Proses Transesterifikasi, Kegiatan Kristalisasi, Kegiatan Distilasi, Kegiatan Kunjungan dan Diskusi dengan Pabrik Biodiesel.

Percobaan optimalisasi proses transesterifikasi dilakukan mulai dari skala laboratorium dan dilanjutkan ke skala pilot plant. Tujuan percobaan adalah untuk mengoptimasi kondisi operasi agar didapat biodiesel dengan kadar MG yang diharapkan yakni <0,3%w.

Percobaan skala lab dilakukan dengan memvariasikan rasio methanol terhadap minyak (RBDPO) dalam % volume. Variasi rasio tersebut adalah 20%, 30%, 40%, 50% dan 80%. Hasil uji produksi skala laboratorium dengan berbagai variasi rasio methanol/minyak didapatkan rasio terbaik adalah variasi 40% methanol/minyak dengan kadar MG dari FAME yang dihasilkan sebesar 0,68%. Hasil terbaik ini di peroleh dengan mengoptimalkan beberapa variable seperti kecepatan pengadukan, suhu reaksi, frekuensi washing dan proses separasi atau pemurnian produk FAME.

Hasil yang diperoleh dari kegiatan percobaan skala laboratorium kemudian ditingkatkan ke skala Pilot plant dengan mengacu kondisi operasi terbaik saat di skala laboratorium. Uji coba di skala pilot plant menggunakan umpan minyak RBDPO sebanyak 400 liter dan dihasilkan produk FAME sebanyak 325 liter dengan kadar MG sebesar 0,49%w. hasil ini sedikit lebih besar dibandingkan dengan hasil pada percobaan di skala lab. Hal ini dapat dipahami karena dalam skala pilot plant yang jauh lebih besar akan semakin sulit mengontrol kondisi operasi secara ketat. Namun demikian hasil ini masih dapat dilakukan optimasi dengan beberapa kali uji skala pilot plant dan dengan modifikasi proses pencucian dengan penambahan larutan asam citrate untuk lebih memaksimalkan pemisahan FAME terhadap

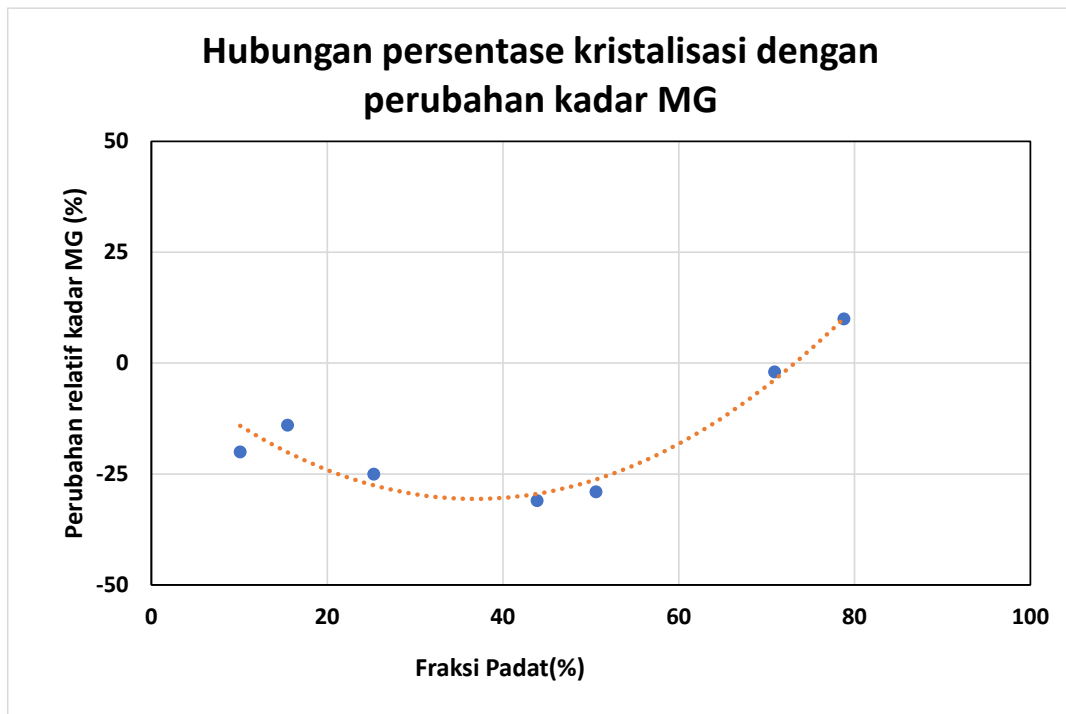
kontaminan termasuk monogliserida (MG). Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari uji coba di skala pilot plant adalah seperti terlihat pada Tabel A.

Tabel A. Karakteristik Biodiesel Produk dari Pilot Plant

Penetapan	Metode/Teknik	Nilai	Spesifikasi	Satuan
Density	ASTM D 4052	0,8592	0,85 – 0,89	g/cm ³
Gliserol total	SNI 7182 : 18	0,28	Max 0,24	% wt
Gliserol bebas	SNI 7182 : 18	0,029	Max 0,02	% wt
Kadar metil ester	Calculated	97,34	Min 96,5	% wt
Angka iodium	SNI 7182 : 18	51,33	Max 115	g-I ₂ /100g
Pour Point	ASTM D 97	12	CFPP min (15)	°C
PMCC	ASTM D 93	174	Min 130	°C
Viscositas	ASTM D 445	5,185	2,3 – 6,0	Cst
MG	SNI 7182 : 18	0,49	Max 0,55	%w

KRISTALISASI

Dengan kristalisasi, monogliserida dipisahkan berdasarkan titik beku dan kelarutannya. Dua kondisi yang paling berpengaruh pada penurunan kadar monogliserida adalah suhu dan persentase kristalisasi. Semakin rendah suhu kristalisasi, semakin rendah pula kadar monogliserida yang tersisa pada fase cair karena kelarutannya semakin kecil. Akan tetapi, pada suhu rendah perolehan fraksi cairnya juga akan semakin rendah karena semakin banyak kristal yang terbentuk. Nilai optimum untuk menghasilkan kadar monogliserida terendah adalah saat fraksi kristal padat diperoleh pada kisaran 30-35 %, atau saat fraksi cair diperoleh sebesar 65-70 %. Jika kristalisasi dilanjutkan sehingga dihasilkan kristal lebih banyak maka kadar MG pada fraksi cair akan meningkat kembali. Pada percobaan kristalisasi dengan kondisi suhu 8 °C, waktu perendaman 30 menit, diperoleh yield biodiesel cair sebesar 56,1% dan berhasil menurunkan kadar monogliserida dari semula 0,49 %w menjadi 0,34 %w.



Gambar A. Hubungan persentase fasa padat dengan perubahan kadar MG pada fase liquid.

Selain penurunan kadar MG, pada percobaan ini juga ditemukan bahwa terjadi perubahan komposisi MG dalam fasa cair dan fasa padat setelah perlakuan kristalisasi. Hasil GC menunjukkan bahwa rasio komponen MG jenuh: MG tak jenuh (Monopalmitin : Monoolein) mengalami penurunan dari 1,17 menjadi 1,10. Hal ini menunjukkan bahwa MG jenuh lebih mudah dikristalisasi dibandingkan MG tak jenuh. Dengan telah dipisahkannya Sebagian besar MG jenuh, maka resiko pembentukan deposit menjadi lebih kecil.

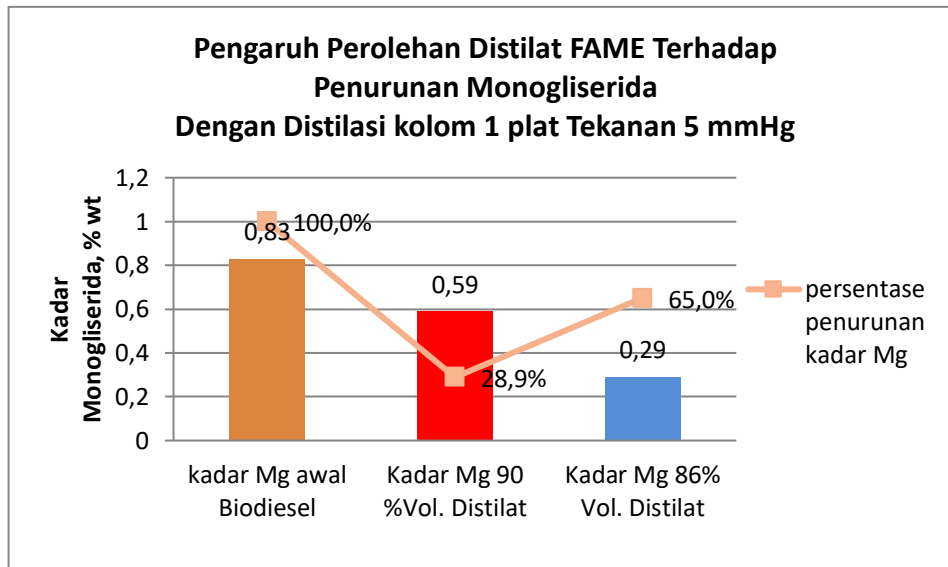
Tabel B. Rasio komponen monogliserida jenuh dan tak jenuh, monopalmitin : monoolein

Sampel	Rasio Monopalmitin: Monoolein
Sampel Original	1,17
Fraksi Cair	1,10
Fraksi padat	1,49

DISTILASI

Proses distilasi dapat menurunkan kadar MG dalam FAME. Dalam rangkaian percobaan yang dilakukan, kondisi optimum yang diperoleh adalah distilasi dengan

menggunakan kolom 1, plat tekanan 5 mmHg, yield 86%vol pada temperatur cutting 360 °C. Pada kondisi ini, kadar monogliserida dapat diturunkan dari 0,83 %wt menjadi 0,29%wt, setara dengan penurunan sebesar 69%.



Gambar B. Pengaruh Perolehan Distilat FAME Terhadap Penurunan Monogliserida Dengan Distilasi kolom 1 plat Tekanan 5 mmHg

Secara teknis, proses sekunder kristalisasi dan distilasi dapat dilakukan untuk menurunkan kadar monogliserida hingga level 0,3 %wt. Penerapan proses tersebut akan membutuhkan perubahan konfigurasi dan instalasi fasilitas tambahan pada pabrik biodiesel. Di sisi lain, juga terdapat potensi penurunan yield atau produktivitas, karena Sebagian produk harus dipisahkan. Berdasarkan pengamatan hasil kunjungan ke plant eksisting, diperoleh informasi bahwa kadar MG dapat dikendalikan dengan memodifikasi kondisi operasi, terutama flow rate produksi. Hal ini akan berpengaruh pada produktivitas dan biaya produksi. Oleh karena itu, sebaiknya penurunan nilai spesifikasi MG pada biodiesel dibatasi pada level yang dapat dicapai oleh pabrikan dengan optimalisasi proses tanpa penambahan peralatan produksi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya kepada Tim selama melakukan kegiatan penelitian hingga selesai penyusunan laporan hasil pelaksanaan kegiatan Tim yang berjudul **“Peningkatan Kualitas FAME dengan Metode Optimalisasi Proses Utama dan Penerapan Proses Sekunder”**. Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan besar berjudul Implementasi Pemanfaatan Bahan Bakar B-40/50 P ada Kendaraan Bermesin Diesel yang didanai oleh DIPA Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral dengan Mata Anggaran Kegiatan M.A.K. 020.11.04.1913.967.082.A

Kegiatan ini dilakukan di Kelompok Program Riset Teknologi Proses, PPPTMGB “LEMIGAS” Jakarta, selama 8 bulan terhitung mulai bulan Mei sampai dengan Desember 2020. Laporan hasil pelaksanaan kegiatan Tim ini dibuat untuk memenuhi persyaratan kegiatan DIPA Tahun Anggaran 2020, yang akan disampaikan kepada Kepala Badan melalui Kepala Pusat selaku Penanggung Jawab Kinerja

Dengan selesainya Laporan hasil pelaksanaan kegiatan Tim ini, kami mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral
2. Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”
3. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan sumbangan pemikiran hingga selesainya kegiatan penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

DAFTAR ISI

TIM PELAKSANA	2
RINGKASAN EKSEKUTIF	3
KATA PENGANTAR	8
DAFTAR ISI	9
DAFTAR TABEL	11
DAFTAR GAMBAR	12
DAFTAR LAMPIRAN	14
BAB 1. PENDAHULUAN	15
A. LATAR BELAKANG	15
1.1.1 Perumusan masalah.....	20
1.1.2 Sasaran	20
1.1.3 Tujuan.....	20
B. LINGKUP KEGIATAN	21
BAB 2. JUDUL KEGIATAN	22
A. LANDASAN TEORI	22
2.1.1 Bahan Baku	22
2.1.2 Kimia Biodiesel	25
2.1.3 Pengaruh Bahan Baku Terhadap Sifat Biodiesel	27
2.1.4 Spesifikasi Biodiesel	30
2.1.5 Proses Produksi Biodiesel	31
2.1.6 Pilot plant biodiesel lemigas.....	37
2.1.7 Proses Produksi Biodiesel	42
2.1.8 Teknologi kristalisasi.....	44
2.1.9 Teknologi distilasi	46
B. METODOLOGI	51
2.2.1 Proses Utama Trans-esterifikasi	51
2.2.2 Kristalisasi	53
2.2.3. Distilasi.....	55
C. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57

	10
2.3.1 Proses Utama Trans-esterifikasi	58
2.3.2 Hasil Kristalisasi	62
2.3.3 Hasil Distilasi	68
2.3.4 Hasil Keseluruhan	75
D. CAPAIAN KELUARAN	78
BAB 3. PENUTUP	79
3.1 Kesimpulan.....	79
3.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jadwal Kegiatan	21
Tabel 2. Prosentase Komposisi Asam Lemak Dari Beberapa Minyak Nabati.	24
Tabel 3. Pengaruh Struktur Kimia pada Titik Leleh dan Titik Didih Asam Lemak dan Metil Ester nya.....	29
Tabel 4. Karakteristik metil ester (biodiesel) yang dihasilkan dari beberapa minyak nabati.....	29
Tabel 5. Spesifikasi Biodiesel, SK Dirjen EBTKE no 189/K/10/DJE/2019	30
Tabel 6. Standar spesifikasi produk biodiesel yang dihasilkan pabrik biodiesel dengan teknologi Lurgi	36
Tabel 7. Matriks percobaan Trans-esterifikasi.....	52
Tabel 8. Karakteristik Biodiesel Produk dari Pilot Plant	61
Tabel 9. Rasio komponen monogliserida jenuh dan tak jenuh, monopalmitin : monoolein.....	67
Tabel 10. Karakteristik Biodiesel Produk dari dari Proses Kristalisasi.....	67
Tabel 11. kadar monogliserida dan suhu pour point pada setiap fraksi distilat FAME	71
Tabel 12. Komposisi dan suhu titik didih senyawa metil ester pada biodiesel.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur molekul trigliserida, FAME, dan monogliserida jenuh.....	15
Gambar 2. Proses utama produksi biodiesel.....	17
Gambar 3. Skema reaksi transesterifikasi untuk pembuatan metil ester asam lemak (biodiesel).....	26
Gambar 4. Blok diagram proses produksi biodiesel LIPICO.....	32
Gambar 5. Jenis unit proses yang dikembangkan oleh Desmet Ballestra.....	33
Gambar 6. Diagram Alir Proses Produksi Biodiesel Desmet Ballestra	34
Gambar 7. Desain teknologi plant biodiesel Lurgi	36
Gambar 8. Diagram alir proses unit biodiesel.....	39
Gambar 9. Gambar tiga dimensi unit biodiesel.....	40
Gambar 10. Blok diagram unit biodiesel.....	41
Gambar 11. Blok Diagram Unit Degumming	42
Gambar 12. Skema proses dry fractionation pemisahan Olein dan stearin yang berdasarkan proses kristalisasi	46
Gambar 13. Proses utama produksi biodiesel.....	51
Gambar 14. Kegiatan produksi biodiesel pada pilot plant biodiesel LEMIGAS.....	53
Gambar 15. Rangkaian Eksperimen Kristalisasi FAME.....	54
Gambar 16. Skema percobaan pembuatan FAME yang dilanjutkan dengan proses distilasi.....	57
Gambar 17. Pengaruh settling terhadap kadar monogliserida. Settling FAME dalam botol dengan ketinggian cairan 18 cm, waktu settling 1 malam suhu ruang.....	63
Gambar 18. Hubungan antara waktu kristalisasi dengan kadar MG pada fase liquid serta peresentase perubahannya dibanding sampel awal. Suhu kristalisasi adalah 14°C.	64
Gambar 19. Hubungan persentase fasa padat dengan perubahan kadar MG pada fase liquid.	65
Gambar 20. Kadar MG pada fase liquid serta peresentase perubahannya dibanding kadar MG pada sampel awal, hasil eksperimen kristalisasi 1 dan 2 tahap.....	66
Gambar 21. Profil kurva suhu dan %vol. distilat biodiesel menggunakan alat distilasi 1 plat dan Distilasi TBP 30 plat refluks 1:2	69

Gambar 22. Kadar monogliserida dan suhu Pour Point tiap fraksi distilat biodiesel Dengan Distilasi TBP 30 plat tekanan 5 mmHg.....	70
Gambar 23. Pengaruh Tekanan pada Penurunan Monogliserida Dengan Distilasi 1 plat.....	73
Gambar 24. Pengaruh Perolehan Distilat FAME Terhadap Penurunan Monogliserida Dengan Distilasi kolom 1 plat Tekanan 5 mmHg.....	74
Gambar 25. Aktivitas Proses produksi biodiesel di pilot plant Biodiesel KP3T Proses PPPTMGB LEMIGAS.	86
Gambar 26. Peralatan yang digunakan untuk eksperimen kristalisasi	87
Gambar 27. Set up alat ditilasi vakum 1 plate	88
Gambar 28. Kunjungan ke PT Wilmar Nabati Gresik.	90
Gambar 29. Kegiatan Konsinyasi Penyusunan Laporan	91

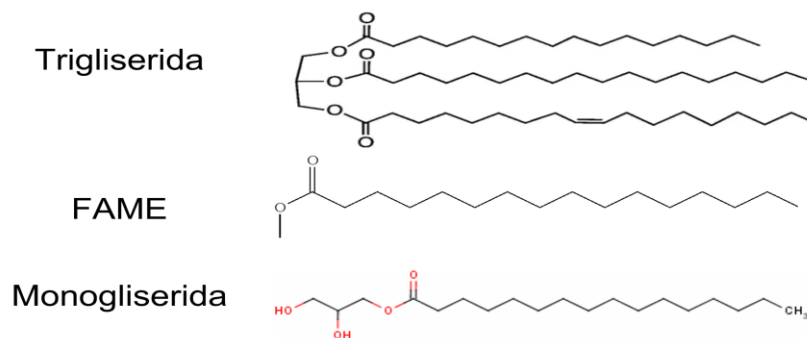
DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Kromatogram FAME	83
LAMPIRAN 2. Foto-Foto Kegiatan	86

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Salah satu keluhan yang paling sering dilaporkan dari implementasi Biodiesel B30 adalah terjadinya penyumbatan pada filter bahan bakar. Kandungan utama deposit pada filter yang diidentifikasi adalah monogliserida jenuh (*saturated monoglyceride*, sMG). Monogliserida (MG) merupakan impurities dalam biodiesel yang dihasilkan dari proses reaksi yang belum sempurna, yang seharusnya mengkonversi trigliserida menjadi FAME. Monogliserida memiliki titik beku lebih tinggi daripada FAME yang setara, sehingga cenderung membentuk padatan tidak larut.



Gambar 36. Struktur molekul trigliserida, FAME, dan monogliserida jenuh.

Monogliserida tetap tinggal dalam produk biodiesel sebagai impurities dengan angka kelarutan yang rendah. Berat molekul monogliserida lebih tinggi dari FAME, sehingga titik lebur dan titik didihnya juga lebih tinggi. Dengan karakteristik demikian, monogliserida mudah terpresipitasi dari biodiesel membentuk padatan yang kemudian terakumulasi dan menyumbat filter (Paryanto et.al, 2019). Molekul monogliserida memiliki dua gugus -OH sehingga bersifat lebih higroskopis dibandingkan ester. Keberadaan air yang terserap ini memperbesar peluang berkembangnya mikroba.

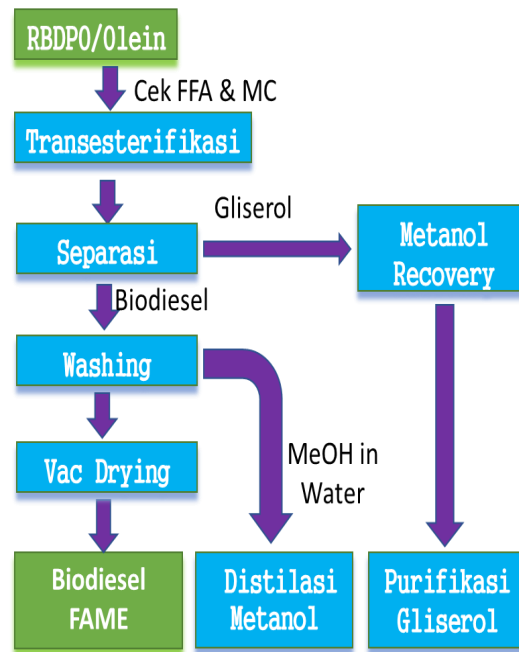
Seiring dengan peningkatan kadar FAME dalam blending biosolar, pemerintah telah menetapkan spesifikasi kadar monogliserida pada FAME B100 yang semula maksimal 0.8 %wt menjadi maksimal 0.55 %wt yang berlaku saat ini. Untuk

peningkatan kadar blending FAME lebih tinggi, perlu dipertimbangkan apakah perlu pengetatan lebih lanjut terkait spesifikasi monogliserida tersebut. Selain dari sisi pengaruh konsentrasi monogliserida terhadap penggunaan pada mesin, perlu dipertimbangkan juga kemampuan pabrik biodiesel dalam membatasi kadar monogliserida dalam produknya. Sebagai perbandingan, batas maksimal kandungan monogliserida pada biodiesel di Eropa menurut standar EN14214 adalah sebesar 0.8 %wt.

Teknologi Proses

Teknologi proses produksi biodiesel menggunakan proses trans-esterifikasi sudah umum digunakan industri dalam memproduksi biodiesel. Namun pada proses produksinya kemungkinan bahan baku yang digunakan tidak terkonversi sempurna, sehingga walaupun sudah dilakukan tahapan pemurnian produk biodiesel, masih terdapat sisa bahan baku dalam bentuk monogliserida, yang dalam implementasi BXX pada kendaraan bermotor pada suhu lebih rendah dari cloud point dapat menimbulkan pengendapan monogliserida. Endapan monogliserida ini lambat laun akan terakumulasi pada filter bahan bakar, dan akhirnya akan menimbulkan penyumbatan. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan optimasi proses transesterifikasi dan pemurnian produk, dengan tujuan bahan baku yang digunakan untuk memproduksi biodiesel dapat terkonversi sempurna menjadi biodiesel. Optimasi yang dapat dilakukan meliputi:

- Pemilihan bahan baku yang tepat untuk produksi biodiesel;
- Optimasi penggunaan metanol dan katalis;
- Optimasi kondisi operasi proses transesterifikasi;
- Penggunaan tahapan proses netralisasi setelah proses transesterifikasi (untuk menghentikan terjadinya reaksi lanjut)
- Penggunaan asam sitrat pada saat pencucian



Gambar 37. Proses utama produksi biodiesel

Terdapat beberapa pilihan teknik pemisahan yang berpotensi diterapkan untuk memurnikan biodiesel dari pengotor monogliserida, diantaranya distilasi, kristalisasi, klatrasi urea, sentrifugasi, dan sebagainya.

Distilasi

Teknik Distilasi vakum umumnya digunakan untuk memurnikan produk turunan senyawa-senyawa dari lemak. Teknik ini memisahkan fraksi distilat berdasarkan perbedaan sifat penguapannya atau titik didihnya.

Distilasi tekanan vakum biasanya dilengkapi dengan kolom isian (packed column) dan menggunakan temperatur rendah. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga mutu produk yang tidak stabil, yang sensitive terhadap suhu.

Karena konsumsi energy yang relative besar, teknik ini umumnya digunakan untuk mengisolasi produk bernilai dengan kemurnian tinggi (Krishnamurthy & Kellens, 1996).

Penelitian yang dilakukan (Falk & Meyer-Pittroff, 2004) menggunakan distilasi vakum untuk fraksinasi UCOME (FAME dari minyak jelantah) dan FAME dari lemak hewan. Distilasi dilakukan pada tekanan absolut 0,05 Pa dan suhu tidak melebihi

180°C. Fraksi distilat kaya akan komponen jenuh (saturated) sementara residu terdiri dari komponen tidak jenuh. Untuk UCOME dan lemak hewan FAME lemak hewan, kandungan senyawa jenuh (saturated) menurun dari 31% menjadi 15% wt. dan 43,5% menjadi 30% wt.

Teknik distilasi vakum yg dikembangkan untuk fraksinasi FAME dari minyak kernel, dilakukan pada tekanan 25 mBar dengan refluks ratio 2;1. Distilasi dilakukan pada suhu 180 C, untuk memisahkan senyawa C16 (distilat) dan fraksi C18 (residue). Selanjutnya residue didistilasi lebih lanjut pada suhu 219.2 C untuk menghasilkan fraksi dengan komposisi utama fraksi C18 metil oleat (Heck et al., 2006). Hasil akhir distilasi ini adalah 52,1% wt. cair, terdiri dari 80,1% wt. metil oleate dan senyawa jenuh = 1.58% wt. Meningkatkan rasio refluks menjadi 2,5:1 akan meningkatkan secara signifikan yield menjadi 95,8% dan menurunkan kandungan senyawa jenuh menjadi 1,48%wt, meskipun kandungan metil oleat juga menurun menjadi 64,4% wt.

Penelitian lainnya yang dilakukan (Dunn & Moser, 2010), mengkaji teknik distilasi untuk menghilangkan kadar monogliserida dan steril glukosida untuk meningkatkan mutu sifat karakteristik biodiesel pada suhu dingin.

Distilasi vakum tekanan sangat rendah telah banyak digunakan oleh produsen dan pabrik biodiesel untuk meningkatkan sifat karakteristinya. Namun, teknik distilasi vakum relatif memerlukan biaya produksi yang lebih besar dibandingkan teknik pemisahan yang melibatkan teknik pendinginan atau kristalisasi.

Kristalisasi

Kristalisasi adalah metode pemisahan yang memanfaatkan perbedaan titik leleh komponen (Tavare, 1995). Dengan rantai lemak yang sama, monogliserida memiliki titik leleh yang lebih tinggi daripada esternya. Dalam biodiesel monogliserida berada dalam campuran atau larutan bersama dengan ester. Karena titik lelehnya lebih tinggi, monogliserida memiliki kecenderungan untuk membentuk padatan dan terpresipitasi pada suhu lebih tinggi. Karakteristik inilah yang dimanfaatkan untuk memisahkannya dari biodiesel.

Prinsip kristalisasi telah banyak diterapkan pada pabrik kepala sawit untuk memisahkan olein dan stearin, yang prosesnya dikenal dengan istilah *dry fractionation* (Zaliha, 2004; Nusantoro, 2007). Proses ini secara prinsip dapat diadopsi untuk secara spesifik menyasar pada komponen monogliserida dalam biodiesel. Percobaan awal yang telah dilakukan di laboratorium menunjukkan bahwa pada penurunan suhu biodiesel secara perlahan terbentuk kristal dengan laju pertumbuhan kristal yang lambat. Pada fase awal, komponen yang terpresipitasi lebih dulu adalah komponen yang memiliki titik leleh tinggi, dalam hal ini monogliserida dan FAME jenuh dengan rantai panjang. Bila padatan yang terbentuk pada fase awal kristalisasi ini dipisahkan dengan penyaringan dan atau dekantasi, maka konsentrasi monogliserida pada biodiesel dapat diturunkan tanpa mengurangi yield secara signifikan.

Faktor yang mempengaruhi proses kristalisasi antara lain adalah suhu, kecepatan pendinginan, pengadukan, dan proses nukleasi. Faktor-faktor tersebut perlu divariasikan dalam eksperimen untuk menghasilkan proses pemisahan yang optimal. Teknik sentrifugasi ini dikedepankan dalam usulan ini berdasarkan pengamatan bahwa ada kecenderungan pemisahan alamiah yang terjadi saat biodiesel disettling dalam kurun waktu tertentu. Dengan settling biodiesel pada suhu ruang, secara visual teramati pembentukan lapisan keruh pada dasar wadah, mengindikasikan komposisinya berbeda dari lapisan yang lebih atas. Besar kemungkinan pada lapisan bawah ini partikel pengotor terakumulasi dan mudah dipisahkan dengan dekantasi.

Teknik sentrifugasi pada dasarnya adalah proses settling yang dipercepat. Prinsip pemisahan didasarkan pada perbedaan spesifik gravity dari komponen-komponen dalam campuran. Dengan dikenakan gaya sentrifugal, komponen dengan spesifik gravity lebih besar akan terdorong ke dasar wadah dengan laju yang lebih cepat. Berbagai teknik tersebut akan diinvestigasi dan dibandingkan untuk menemukan proses yang efisien. Kombinasi antar metode juga dimungkinkan.

Penelitian akan dilakukan dalam skala laboratorium, meliputi optimasi reaksi transesterifikasi, eksperimen pemisahah/pemurnian yang terdiri dari empat pilhan metode. Keempat metode yang diujicobakan akan dibandingkan untuk

mendapatkan proses yang paling efisien. Dengan metode yang paling efisien akan dilakukan pengulangan percobaan untuk mendapatkan volume sampel yang cukup untuk dilakukan uji kinerja pada mesin statis. Adapun uji kinetika, perancangan proses, dan perhitungan keekonomian tahap awal, yang dapat dikembangkan berdasarkan hasil uji skala laboratorium akan dilakukan pada tahap selanjutnya.

Untuk penelitian skala laboratorium ini, kolaborasi akan dilakukan dengan menggandeng universitas. Kolaborasi dengan industri biodiesel akan ditawarkan pada tahapan selanjutnya setelah diperoleh hasil yang prospektif.

2.2.5. Perumusan masalah

Bagaimana memperbaiki teknik konversi dan penerapan proses pemisahan sekunder untuk memproduksi biodiesel berkualitas tinggi berkadar impuritis monogliserida sebesar maksimal 0.3%wt.

2.2.6. Sasaran

- Proses esterifikasi menghasilkan kandungan metil ester lebih besar dari 96.5 %
- Masing-masing metode pemisahan dapat menurunkan kandungan monogliserida hingga 0,3%.
- Pemilihan metode pemisahan yang efisien dan yield tertinggi.
- Mendapatkan kondisi operasi optimum sebagai input untuk penelitian selanjutnya (kinetika, perancangan proses, perhitungan keekonomian awal)

2.2.7. Tujuan

Mengoptimalkan proses utama reaksi pembuatan biodiesel

Mengembangkan teknik pemisahan sekunder untuk mencapai kadar monogliserida pada biodiesel sebesar 0.3 %wt.

B. LINGKUP KEGIATAN

Kegiatan peningkatan kualitas FAME ini merupakan bagian dari kegiatan utama yang berjudul implementasi Implementasi Pemanfaatan Bahan Bakar B-40/50 Pada Kendaraan Bermesin Diesel. Adapun lingkup kegiatan peningkatan kualitas FAME ini sendiri adalah sebagai berikut:

- Kegiatan Optimalisasi Proses Transesterifikasi
- Kegiatan Kristalisasi
- Kegiatan Distilasi
- Kegiatan Kunjungan dan Diskusi dengan Pabrik Biodiesel
- Kegiatan Konsinyasi Penyusunan Laporan

Adapun jadwal kegiatan penelitian seperti yang disampaikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Bulan									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Persiapan										
2	Kegiatan Optimalisasi Proses Transesterifikasi										
3	Kegiatan Kristalisasi										
4	Kegiatan Distilasi										
5	Kunjungan dan Diskusi ke Pabrik Biodiesel										
6	Penyusunan Laporan										

JUDUL KEGIATAN

A. LANDASAN TEORI

Biodiesel didefinisikan sebagai ester mono-alkil dari asam-asam lemak yang diturunkan dari minyak nabati atau lemak hewani. Dalam istilah sederhana, biodiesel adalah produk yang diperoleh bila suatu minyak nabati atau lemak hewani direaksikan secara kimia dengan suatu alkohol, dengan bantuan katalis, untuk memproduksi suatu senyawa baru yang dikenal sebagai suatu ester alkil asam lemak.

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang mendapat perhatian besar diseluruh dunia termasuk Indonesia. Biodiesel bukan suatu bahan bakar baru secara teknologi karena pada kenyataannya Dr. Rudolf Diesel sudah mengembangkan mesin diesel dengan menggunakan minyak kacang tahun 1912. Meskipun menarik perhatian karena sebagai bahan bakar terbarukan, tetapi dapat juga digunakan dalam bentuk murni atau dalam campuran dengan bahan bakar minyak (diesel) solar tanpa memodifikasi mesin diesel-nya. Pemakaian biodiesel sangat aman, tidak toksis, *biodegradable* dan mudah digunakan.

2.2.8. Bahan Baku

Sumber bahan baku untuk pembuatan biodiesel dipilih sesuai dengan ketersediaannya disuatu daerah atau negara. Setiap sumber asam lemak dapat digunakan untuk membuat biodiesel.

Minyak nabati dapat berasal dari tanaman kelapa sawit, kelapa, kacang kedelai, kacang tanah, jagung, bunga matahari, jarak, alpukat, dsb. Harga minyak nabati yang dapat dimakan mempunyai harga yang sangat tinggi maka selain minyak nabati yang berasal dari tanaman-tanaman tersebut, dapat juga digunakan lemak hewani dan minyak goreng bekas (jelantah).

Dari sudut pandang kimia, sumber bahan baku (minyak nabati) dari sumber yang berbeda mempunyai komposisi asam lemak yang berbeda (Tabel 2). Perbedaan asam-asam lemak tersebut berkaitan dengan panjang rantai, derajat ketidak jenuhan atau adanya fungsi kimia lain.

Suatu sumber yang sesuai untuk memproduksi biodiesel tidak akan bersaing dengan penggunaan (aplikasi) lain yang dapat mencapai harga yang lebih tinggi, misalnya bahan mentah untuk farmasi. Seleksi suatu sumber untuk memproduksi bahan bakar harus dipertimbangkan karakteristik pasar minyak nabati. Disamping itu, pertimbangan lain adalah prosentase kandungan minyak dalam tumbuhan tersebut dan *yield* (perolehan) minyak per hektar.

Sebaiknya sumber biodiesel harus memenuhi dua persyaratan yaitu:

- (a) biaya produksi rendah, dan
- (b) skala produksi besar.

Tabel 2. Prosentase Komposisi Asam Lemak Dari Beberapa Minyak Nabati.

No	Minyak Nabati	Asam Palmitat (16:0)	Asam Stearat (18:0)	Asam Palmitoleat (16:1)	Asam Oleat (18:1)	Asam Linoleat (18:2)	Asam Risinat (12-OH oleat)	Asam Lainnya
1	Sawit	32.8	4.4	0.3	45.7	12.9	0.9	
2	Kelapa	5.0	3.0	-	6.0	-	-	65.0
3	Kacang tanah	8.5	6.0	-	51.6	26.0	-	-
4	Minyak Kapas	28.6	0.9	0.1	13.0	57.2	-	0.2
5	Jagung	6.0	2.0	-	44.0	48.0	-	-
6	Kedele	11.0	2.0	-	20.0	64.0	-	3.0
7	Biji Matahari	6.4	2.9	0.1	17.7	72.8	-	0.1
8	Castor	-	3.0	3.0	3.0	1.2	89.5	0.3
9	Rapeseed	3.5	0.9	0.1	54.1	22.3	-	9.1
10	Tallow (Lemak Hewan)	29.0	24.5	-	44.5	-	-	-
11	Minyak Olive	14.6	-	-	75.4	10.0	-	-

2.2.9. Kimia Biodiesel

Biodiesel terdiri dari metil ester asam-asam lemak yang terkandung dalam trigliserida minyak nabati atau lemak hewani. Biodiesel mempunyai suatu bilangan setana tinggi, sifat lubrisitas yang baik, kandungan energi yang dapat dibandingkan dengan minyak diesel konvensional, dan mudah dicampurkan dengan minyak diesel (solar) dalam segala perbandingan. Secara teknis biodiesel dapat dipertimbangkan sebagai suatu komponen berkualitas baik untuk pencampur bahan bakar diesel.

Biodiesel merupakan suatu bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan dibuat dari minyak nabati, lemak hewani dan minyak goreng bekas (jelantah). Biodiesel menawarkan banyak keuntungan antara lain:

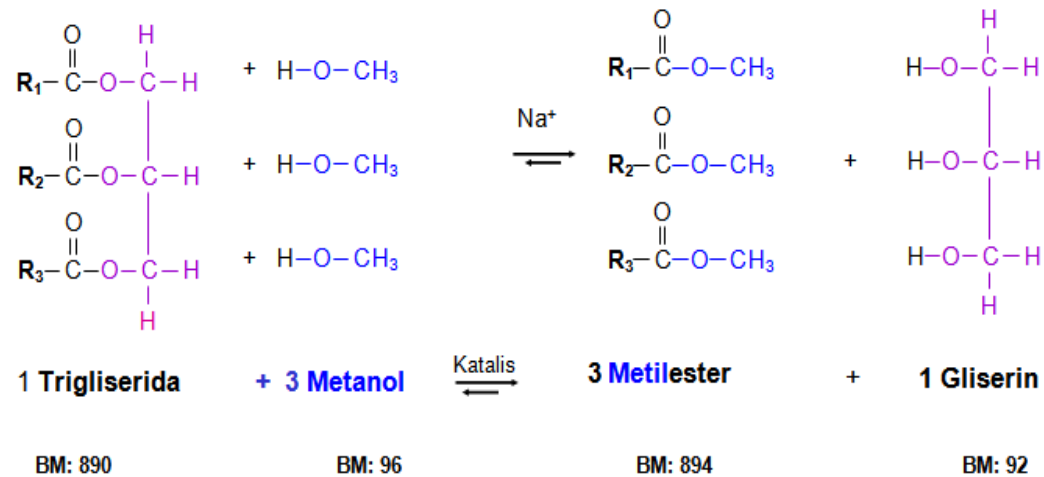
- Bahan bakar yang dapat diperbaharui.
- Merupakan energi yang efisien
- Dapat menggantikan bahan bakar fosil minyak diesel (solar)
- Dapat digunakan pada peralatan mesin diesel tanpa atau hanya modifikasi kecil (*minor*)
- Dapat mengurangi emisi gas pemanasan global
- Dapat mengurangi gas buang
- Tidak toksik, *biodegradable*, dan sesuai dengan lingkungan yang sensitif.
- Dapat digunakan dengan mudah.

Apabila digunakan dengan jumlah kecil 1% - 2% dapat berfungsi sebagai aditif lubrisitas dan hal ini sangat penting untuk bahan bakar diesel yang mempunyai kandungan sulfur sangat rendah, 15 ppm sulfur (ULSD, *ultra low sulfur diesel*), yang mempunyai sifat lubrisitas sangat rendah.

Apabila biodiesel digunakan sebesar 15% dalam campuran dengan minyak diesel fosil maka ditandai sebagai B15. Sedangkan biodiesel dengan metil ester 100% maka ditandai sebagai B100.

Secara umum pembuatan biodiesel adalah dengan proses transesterifikasi dimana minyak nabati atau lemak hewani (trigliserida) direaksikan dengan alkohol (metanol) dengan adanya suatu katalis untuk membentuk metil ester asam lemak. Dari neraca

massa secara keseluruhan, kira-kira 0,1 kg metanol bereaksi dengan 1 kg minyak nabati akan menghasilkan kira-kira 1 kg biodiesel dan 0,1 kg gliserin. Skema reaksinya dapat digambarkan seperti disajikan pada Gambar 38. Skema reaksi transesterifikasi untuk pembuatan metil ester asam lemak (biodiesel).



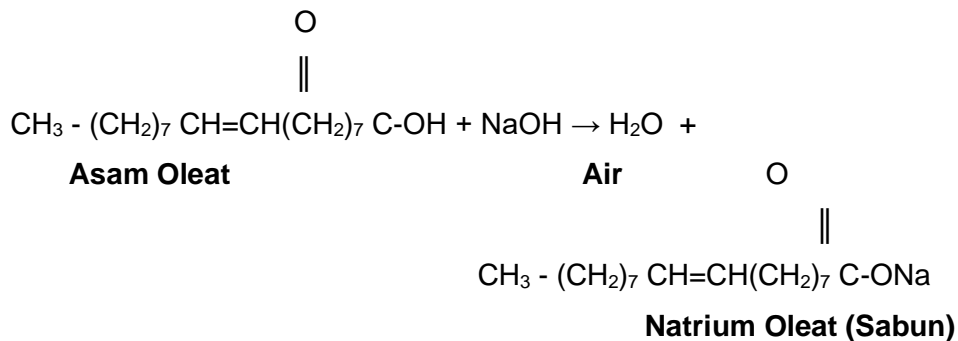
Gambar 38. Skema reaksi transesterifikasi untuk pembuatan metil ester asam lemak (biodiesel)

Secara sederhana, berat molekul (BM 890) yang ditunjukkan di atas dihitung hanya untuk contoh ester asam stearat dan diilustrasikan dalam kondisi ideal. Gliserin atau sering disebut gliserol adalah produk samping dari proses transesterifikasi tersebut. R1, R2 dan R3 adalah rantai panjang dari karbon dan atom hidrogen yang sering disebut rantai asam lemak. Ada lima tipe rantai asam lemak yang pada umumnya didapatkan pada minyak nabati dan lemak hewani yaitu:

- Palmitat: R = - (CH₂)₁₄ - CH₃, 16 atom karbon tanpa ikatan rangkap (16:0)
- Stearat : R = - (CH₂)₁₆ - CH₃, 18 atom karbon tanpa ikatan rangkap (18:0)
- Oleat: R = - (CH₂)₇ CH=CH(CH₂)₇ CH₃, 18 atom karbon dan 1 ikatan rangkap (18:1)
- Linoleat: R = - (CH₂)₇ CH=CH-CH₂-CH=CH(CH₂)₄ CH₃, 18 atom karbon dan 2 ikatan rangkap (18:2)

(e) Linolenat R= - (CH₂)₇ CH=CH-CH₂-CH=CH-CH₂-CH=CHCH₂ CH₃, 18 atom karbon dan 3 ikatan rangkap (18:3)

Pada umumnya minyak nabati atau lemak hewani mengandung air dan asam lemak bebas dalam jumlah kecil. Apabila minyak nabati atau lemak hewani, yang mengandung asam lemak bebas ini direaksikan dalam proses pembuatan biodiesel maka akan mengganggu reaksi yaitu terlebih dahulu membentuk sabun. Reaksi ini tidak diinginkan karena mengikat katalis dan harus dihilangkan. Reaksinya dapat digambarkan sebagai berikut:



Selain asam lemak bebas yang menjadi masalah dalam reaksi pembuatan biodiesel, juga kandungan air yang terdapat dalam minyak nabati dapat menjadi masalah. Air dapat menghidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas, terutama pada suhu tinggi.

2.2.10. Pengaruh Bahan Baku Terhadap Sifat Biodiesel

Secara kimia Biodiesel adalah sederhana, tidak lebih dari enam atau tujuh ester asam lemak dalam campuran biodiesel. Ester yang berbeda akan bervariasi pada sifat bahan bakarnya seperti angka setana, densitas, viskositas, titik leleh, titik tuang dan titik kabut, nilai pemanasan (heating value), dan derajat kejenuhan. Komposisi kimia dan sifat biodiesel tergantung pada panjang dan derajat ketidakjenuhan rantai alkil asam lemak. Asam jenuh menunjukkan titik beku yang lebih tinggi dari pada asam tidak jenuh. Titik didih dari asam tergantung pada panjang rantai karbon tetapi hampir tidak tergantung pada derajat ketidakjenuhan. Pengaruh struktur kimia pada titik leleh dan titik didih dari beberapa asam lemak dan esternya dapat dilihat pada

Tabel 3. Sifat atau karakteristik dasar dari metil ester yang dihasilkan dari beberapa tipe minyak nabati yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Pengaruh Struktur Kimia pada Titik Leleh dan Titik Didih Asam Lemak dan Metil Ester nya.

Rantai Asam	Jumlah Karbon: Ketidak jenuhan	Asam		Metil Ester	
		Titik Leleh °C	Titik Didih °C	Titik Leleh °C	Titik Didih °C
Kaprilat	8:0	16,5	239	-40	193
Kaprik	10:0	31,3	269	-18	224
Laurat	12:0	43,6	304	5,2	262
Miristik	14:0	58	332	19	295
Palmitat	16:0	62,9	349	30	415
Palmitoleat	16:1	33	-	0	-
Stearat	18:0	69,9	371	39,1	442
Oleat	18:1	16,3	-	-19,9	-
Linoleat	18:2	-5	-	-35	-
Linolenat	18:3	-11	-	-	-
Arakhidat	20:0	75,2	-	50	-
Eikosenoat	20:1	23	-	-15	-
Behenat	22:0	80	-	54	-
Eurisat	22:1	34	-	-	-

Tabel 4. Karakteristik metil ester (biodiesel) yang dihasilkan dari beberapa minyak nabati

Sumber Minyak	Densitas g/mL @ 15°C	Viskositas cSt @ 40°C	Angka Setana	Heating Value MJ/kg	Titik Kabut (Cloud Point) °C
Sawit	0,880	5,7	62	37,8	+13
Kacang Kedele	0,884	4,08	46,2	39,8	+2
Bunga Matahari	0,880	4,6	49	38,1	+1
Lemak Hewan	0,877	4,1	58	39,9	+12
Canola	0,880	4,4	49,6	40,1	-1*

* Titik Tuang (*Pour point*) pengganti Titik kabut (*Cloud Point*)

2.2.11. Spesifikasi Biodiesel

Pemerintah Indonesia melalui Ditjen Migas telah mengeluarkan Spesifikasi Biodiesel untuk B100 yang harus diacu dalam memproduksi biodiesel. Spesifikasi tersebut ditetapkan dalam SK Dirjen EBTKE no 189/K/10/DJE/2019, seperti yang disajikan dalam Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Spesifikasi Biodiesel, SK Dirjen EBTKE no 189/K/10/DJE/2019

No	Parameter Uji	Satuan	Batasan		Standard Uji
			Min	Maks	
1	Massa Jenis (40 °C)	kg/m ³	850	890	SNI 7182:2015
2	Viskositas kinematik (40 °C)	cSt	2,3	6,0	
3	Angka Setana		51	-	
4	Titik Nyala (Mangkok Tertutup)	°C	100	-	
5	Korosi lempeng tembaga (3jam, 50 °C)	-	-	1	
6	Residu Karbon -dalam per contoh asli atau dalam 10% ampas distilasi	%-massa	-	0,05 0,3	
7	Temperatur distilasi 90%	°C	-	360	
8	Abu tersulfatkan	%-massa	-	0,02	
9	Belerang	mg/kg	-	10	
10	Fosfor	mg/kg	-	4	
11	Angka asam	mg-KOH/g	-	0,4	
12	Gliserol bebas	%-massa	-	0,02	
13	Gliserol total	%-massa	-	0,24	
14	Kadar ester metil	%-massa	96,5	-	
15	Angka iodium	g-I ₂ /100g	-	115	
16	Kestabilan oksidasi -periode induksi metode rancimat -Petrooksi	menit menit	- -	480 36	
17	Monogliserida	%-massa	-	0,8	ASTM D 6304
18	Kadar Air	ppm	-	350	
19	Warna	-	-	3	ASTM D 1500
20	CFPP	°C	-	15	ASTM D 2500
21	Logam I (Na +K)	ppm		5	EN 14108/14109 EN 14538
22	Logam II (Ca +Mg)	ppm		5	EN 14538
23	Total Kontaminan	mg/liter		20	ASTM D 2276, ASTM D 5452, ASTM D 6217

2.2.12. Proses Produksi Biodiesel

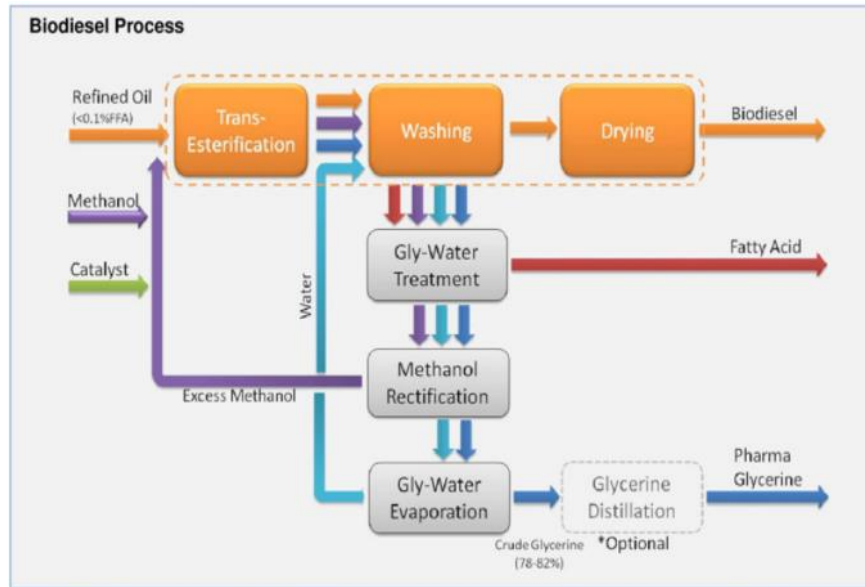
Terdapat tiga lisensi teknologi utama yang digunakan pada pabrik biodiesel komersial, yaitu teknologi LIPICO dari Italia, Teknologi Desmet dari Mlayasia, dan Teknologi Lurgi dari Jerman.

Teknologi LIPICO

Tahapan proses produksi biodiesel dengan teknologi LIPICO terdiri beberapa tahapan, yaitu:

1. Transesterification
2. Washing (Pencucian)
3. Drying (Pengeringan Vakum)
4. Glicerol water treatment
5. Destilasi methanol
6. Glicerol water evaporator
7. Distilasi glicerol

Diagram alir proses produksi biodiesel LIPICO disajikan pada Gambar 39.



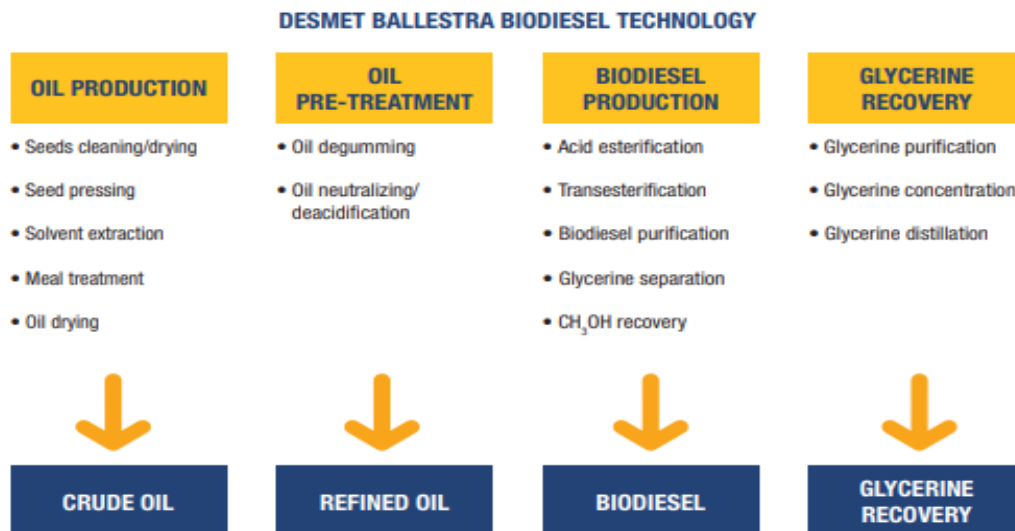
Gambar 39. Blok diagram proses produksi biodiesel LIPICO

Bahan baku teknologi LIPICO dalam memproduksi biodiesel adalah RBDPO (Refined Bleaching Deodorized Palm Oil). Kandungan FFA (asam lemak bebas) bahan baku ini <math>< 0,1\%</math>. Rasio Metanol terhadap RBDPO berkisar 6 – 10, dan katalis NaOH yang digunakan sekitar 1%. RBDPO bersama campuran Metanol dan NaOH dicampurkan dalam reactor transesterifikasi untuk direaksikan selama 1 jam untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol. Reaktor biodiesel ini beroperasi secara kontinyu yang dilengkapi system removal gliserol yang beroperasi secara kontinyu sehingga dapat memaksimalkan konversi biodiesel. Setelah reaksi selesai produk biodiesel dan gliserol di cuci dimana system pencuciannya berlangsung berlawanan arah sehingga dapat menurunkan konsumsi air pencuci sebesar 50%, kemudian dipisahkan biodiesel dan gliserolnya. Produk biodiesel dialirkan ke pengering untuk menghilangkan kandungan airnya dengan system pengering vakum. Produk gliserol, yang bercampur dengan air, methanol dan katalis sisa reaksi, serta asam lemak di lakukan treatment untuk memisahkan asam lemaknya. Campuran gliserol, air, sisa katalis, methanol sisa reaksi yang akan dialirkan menuju destilasi methanol dikontrol pH nya tidak lebih dari 7. Pada unit destilasi ini metanol direcovery yang kemudian dikembalikan kembali ke reactor sebagai reaktan. Campuran gliserol dan air kemudian diuapkan untuk mendapatkan crude gliserol 78-82%. Crude gliserol ini kemudian di destilasi untuk

kemudian dihasilkan produk gliserol dengan kemurnian 99,5% yang dapat dijual sebagai bahan baku farmasi dan kosmetik.

Teknologi DESMET

Desmet Ballestra telah memulai pengembangan teknologi produksi biodiesel di awal tahun 1980-an melalui serangkaian program R & D di bidang produksi biodiesel. Desmet Ballestra mengembangkan proses transesterifikasi secara kontinu untuk menghasilkan biodiesel atau bahan bakar substitusi minyak solar dengan menggunakan berbagai bahan baku minyak nabati, lemak hewani serta termasuk lemak dengan keasaman tinggi seperti PFAD dan minyak goreng bekas (UCO : Used cooking Oil) yang diproses tanpa tambahan unit proses sehingga lebih *low cost*. Disamping itu Desmet juga memiliki unit untuk mempersiapkan bahan baku (oil Refining) serta unit peningkatan mutu produk samping (Glycerine Upgrading).



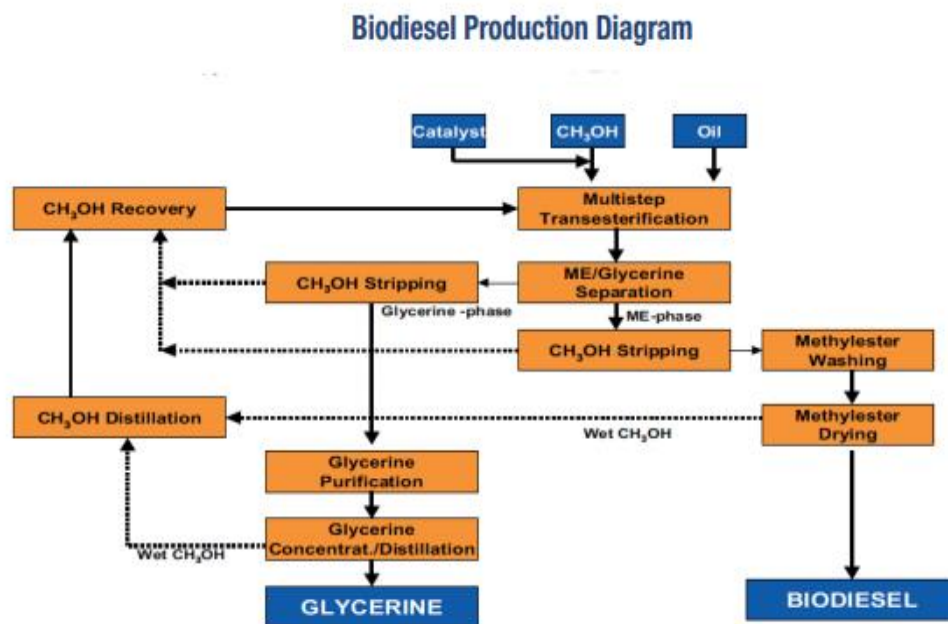
Gambar 40. Jenis unit proses yang dikembangkan oleh Desmet Ballestra

Teknologi Desmet Ballestra menerapkan proses kontinu dengan 3 tahap proses (reaksi) yang dilakukan dengan kondisi operasi ringan (temperatur <60 °C, Tekanan max 0,5 bar serta waktu reaksi 2 jam) dan menggunakan metanol berlebih sesuai stoikiometri reaksi serta memakai katalis alkali methylate yang dilarutkan dalam metanol. Pemakaian metanol dan katalis merupakan sistem aliran tertutup dimana

campuran keduanya dikembalikan (recycle ke tiap-tiap tahap) setelah dipakai dalam reaksi.

Teknologi Desmet memberikan yield (rasio produk biodiesel terhadap umpan minyak) sebesar 99,8% dimana biodiesel tersebut diperoleh setelah melalui pemisahan 2 fase pada akhir reaksi yakni fase atas (produk utama) berupa biodiesel dan fase bawah (produk samping) berupa gliserol.

Tahap selanjutnya merupakan purifikasi dari fase atas biodiesel terhadap metanol yang tidak bereaksi dengan cara washing (pencucian dengan air) dan drying atau pengeringan. Sedangkan purifikasi fase bawah gliserin adalah dengan proses netralisasi dan pemisahan metanol yang tidak bereaksi dengan menggunakan air hasil proses pencucian biodiesel serta proses pemisahan sabun yang terbentuk sehingga diperoleh gliserol dengan kemurnian 88 – 90%.



Gambar 41. Diagram Alir Proses Produksi Biodiesel Desmet Ballestra

Proses reaksi transesterifikasi berlangsung secara kontinu dengan melakukan pemisahan gliserol pada setiap tahap proses reaksi. Melalui 3 tahap proses reaksi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kinetika reaksi di reaktor karena adanya “

efek Solvasi” yakni efek dari penambahan metanol saat reaksi berlangsung yang dapat menggeser kesetimbangan reaksi transesterifikasi ke arah pembentukan produk utama. Proses reaksi secara kontinu dari 1 reaktor ke reaktor berikutnya memberikan efek kinetika yang lebih besar dibanding dengan proses transesterifikasi secara batch. Kelebihan lain dari proses kontinu adalah terjadinya pengambilan produk biodiesel saat berlangsungnya reaksi transesterifikasi yang mengakibatkan terjadinya pergeseran kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan produk biodiesel atau dengan kata lain meningkatkan kinetika reaksi transesterifikasi. Hal ini tidak dapat dilakukan apabila menggunakan teknologi proses secara batch.

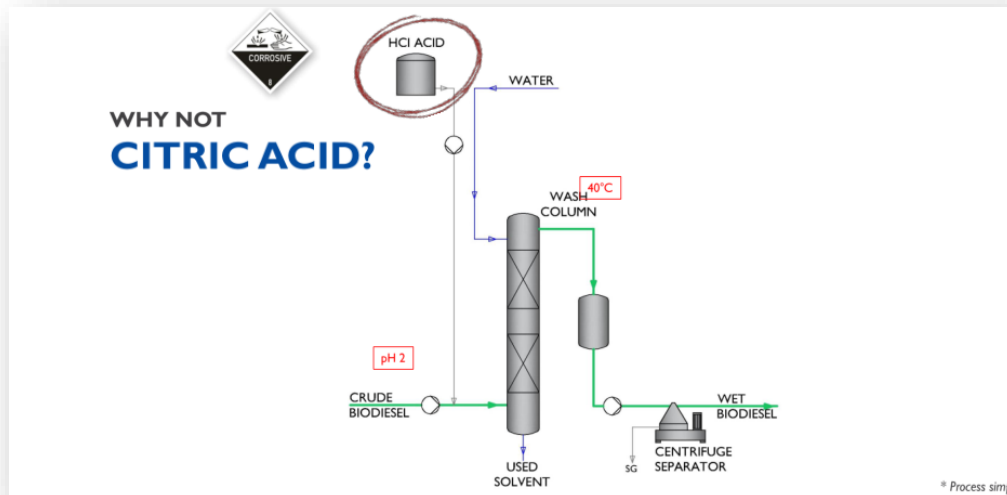
Aliran umpan dan campuran katalis metanol ke reaktor yang berjalan secara kontinu diduga dapat meningkatkan kinetika reaksi transesterifikasi. Masuknya aliran kedua reaktan dan katalis secara bersamaan akan mempercepat kontak diantar keduanya sehingga efektifitas reaksi lebih sempurna.

Salah satu keunikan dari teknologi proses Desmet Ballestra adalah adanya pengambilan fase bawah reaksi berupa produk samping gliserol secara kontinu dari campuran reaksi di tiap reaktor sehingga akan mengarahkan kesetimbangan reaksi bergeser ke arah pembentukan produk sehingga memaksimalkan yield produk utama serta meminimalkan konsumsi katalis.

Teknologi Lurgi

Pabrik biodiesel yang dikembangkan oleh Lurgi, mengandalkan kualitas produk biodiesel dengan standar spesifikasi ketat sesuai standar Eropa. Salah satu teknologi yang dikembangkan oleh Lurgi adalah metoda pemurnian crude biodiesel menggunakan proses pemurnian menggunakan asam klorida menggantikan asam sitrat untuk mereduksi kadar monogliserida dan air.

Desain teknologi plant biodiesel lurgi dapat dilihat seperti Gambar 42 dibawah ini:



Gambar 42. Desain teknologi plant biodiesel Lurgi

Teknologi pemurnian biodiesel menggunakan asam klorida diklaim lebih efektif dan lebih ekonomis dibandingkan pemurnian produk biodiesel yang dikembangkan vendor lainnya. Dibandingkan dengan asam sitrat, asam klorida lebih murah dan secara stoikimteri lebih baik pada proses pemurnian untuk mengurangi kadar monogliseridi, air dan sterol glukosida. Standar spesifikasi produk biodiesel yang dihasilkan pabrik biodiesel dengan teknologi Lurgi dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Standar spesifikasi produk biodiesel yang dihasilkan pabrik biodiesel dengan teknologi Lurgi

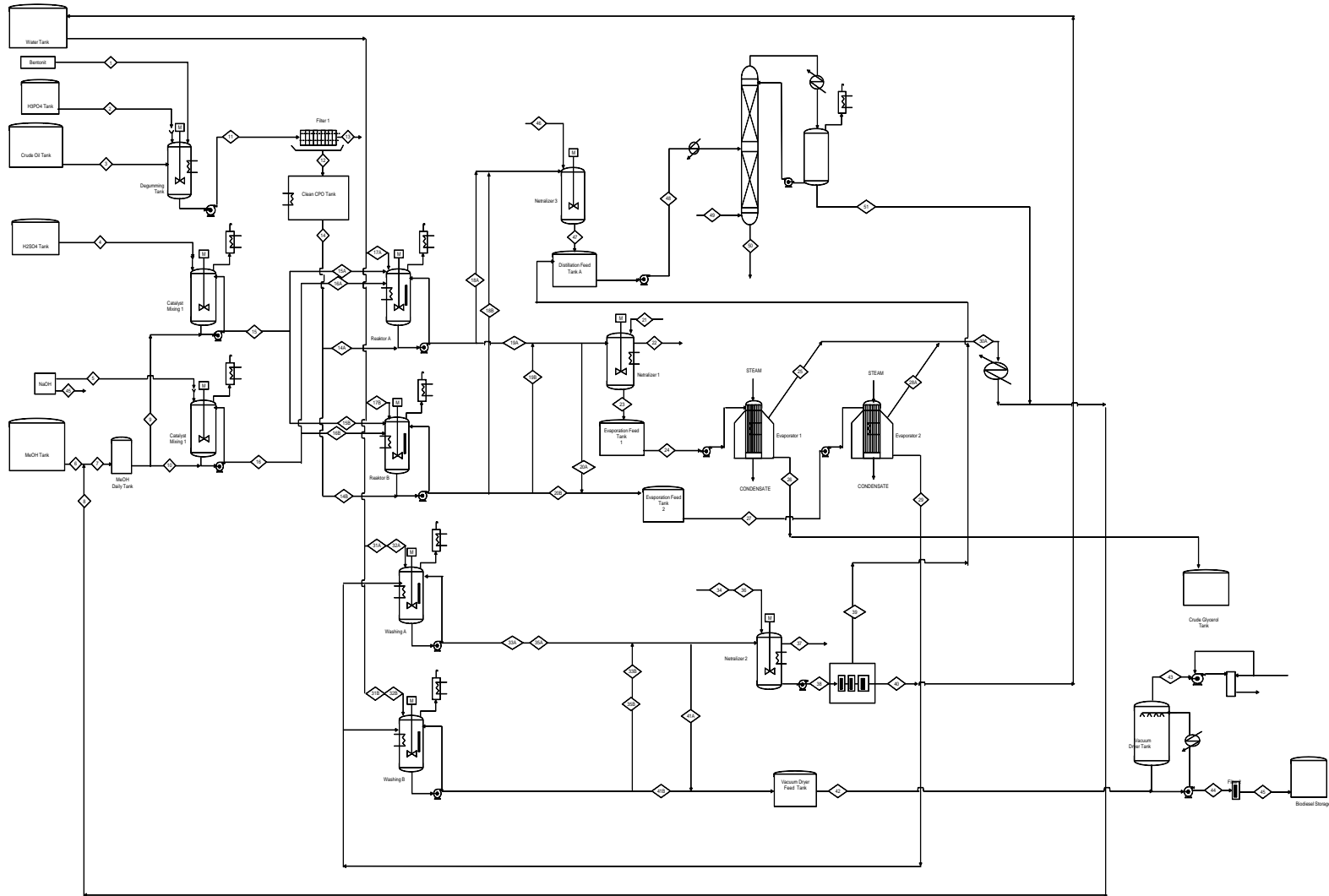
Qualities	Expected Values	EN14214
Methylester		
Monoglycerides (mm %)	0.4	Max 0.8
Diglycerides (mm %)	0.07	Max 0.2
Triglycerides (mm %)	0.06	Max 0.2
Water (ppm)	101	Max 250
Acidity (mg KOH/g)	0.4	Max 0.5
Total Contamination (mg/kg)	2	Max 24
Free Glycerine (mm %)	< 0.005	Max 0.02
Total Glycerine (mm %)	0.12	Max 0.25
FBT	1.1	
Crude Glycerine		
Concentration (mm %)	84.6	80 – 85
Water (mm%)	10.3	13 – 8
Salt (%)	5	< 5

2.2.13. Pilot plant biodiesel lemigas

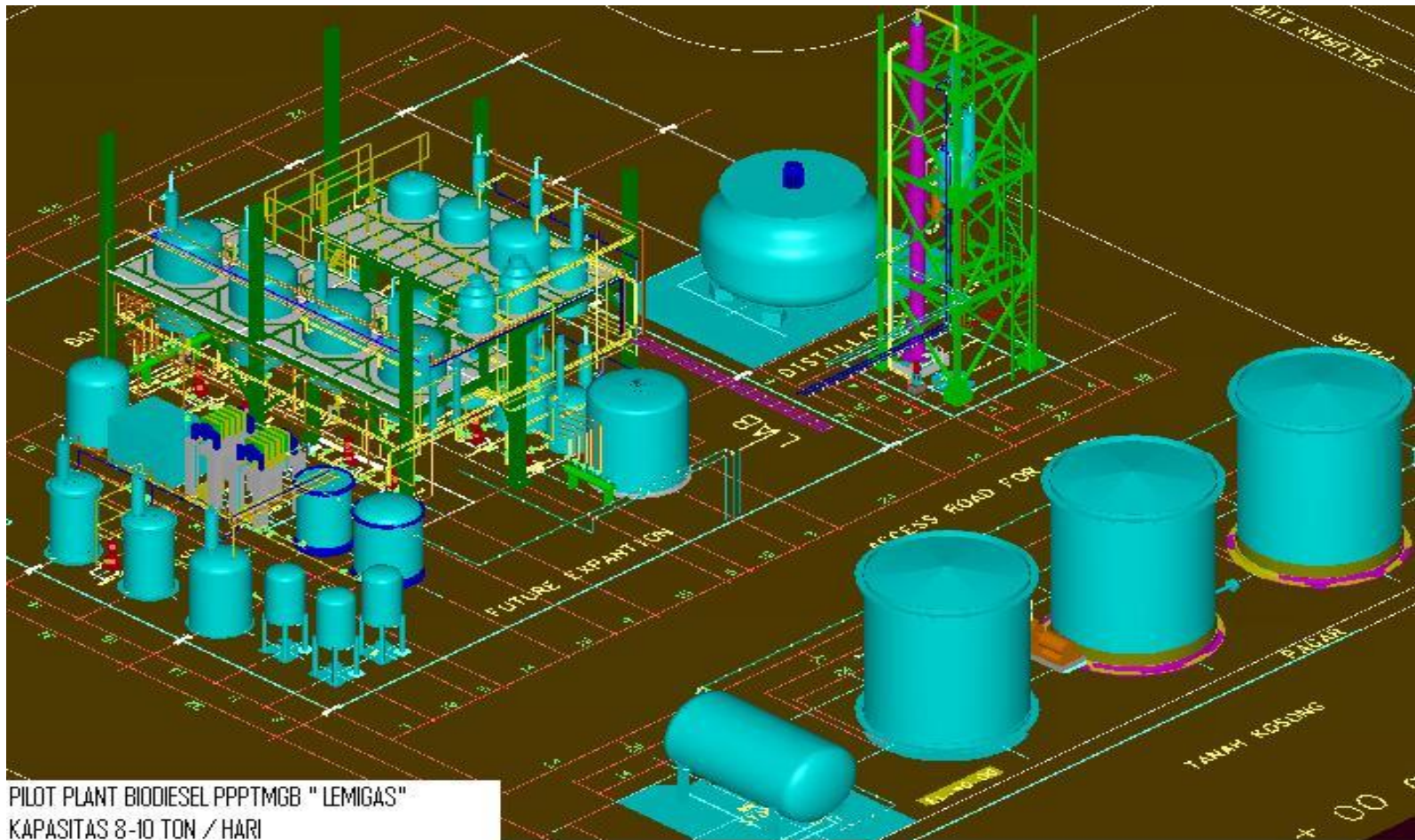
Unit Biodiesel (Pilot Plant Biodiesel) dibangun tahun 2006 dengan kapasitas 8 – 10 ton/hari, dengan maksud untuk dapat digunakan sebagai sarana penelitian dan sekaligus mendukung program sosialisasi pemanfaatan biodiesel sebagai pencampur minyak solar di Indonesia yang dikenal dengan sebutan biosolar. Unit ini terdiri dari:

- Tangki bahan baku dan produk biodiesel
- Unit Degumming dan Filtrasi (Preparasi bahan baku)
- Mixing katalis
- Reaktor (transesterifikasi & esterifikasi)
- Pemurnian produk biodiesel
- Recovery metanol
- Pemurnian produk gliserol
- Boiler pembangkit steam
- Cooling water
- Unit Blending Biodiesel dan Minyak Solar
- Unit pengolahan limbah
- Laboratorium biodiesel

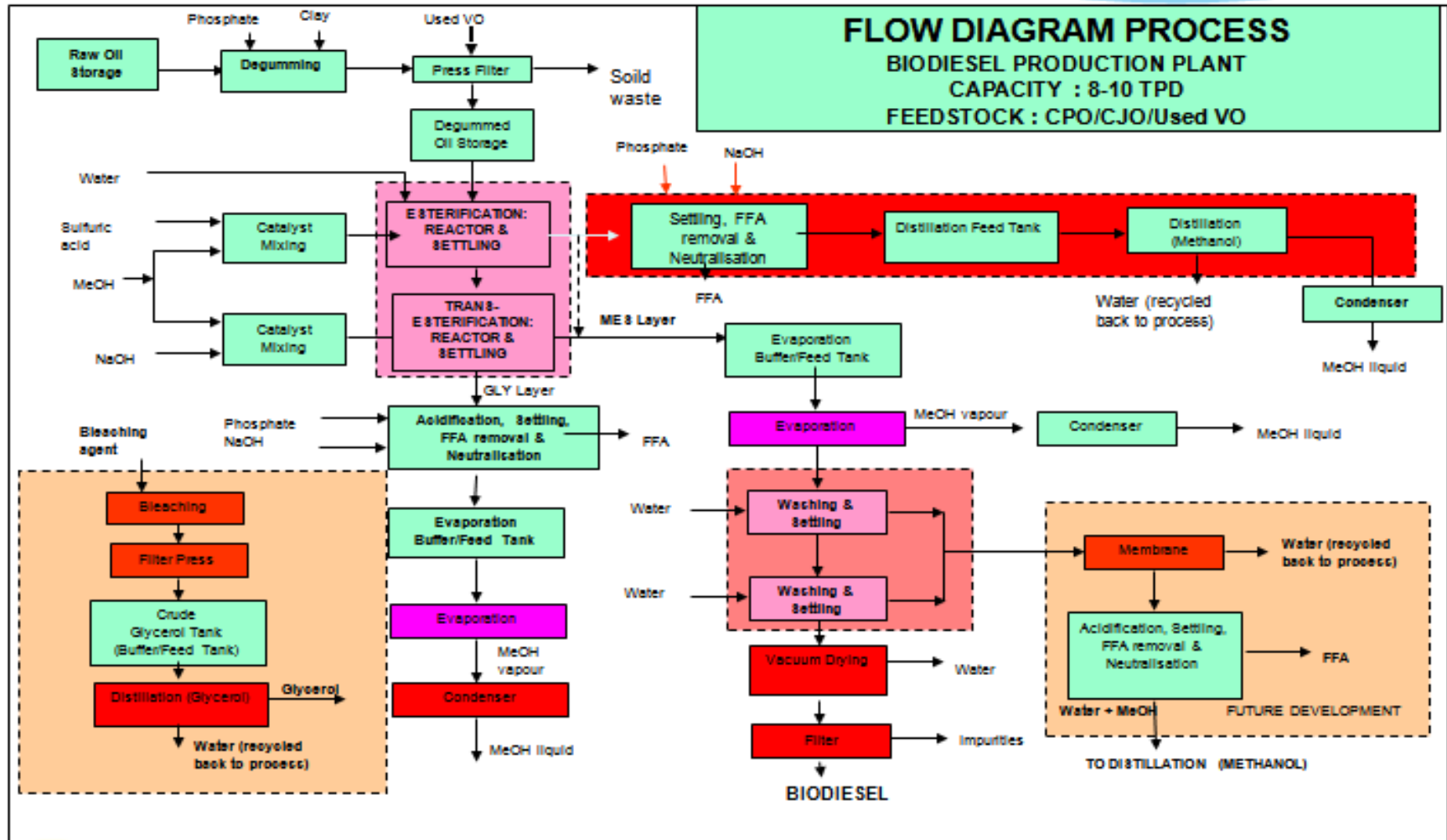
Diagram alir proses, gambar tiga dimensi dan blok diagram unit biodiesel disajikan pada Gambar 43, Gambar 44, dan Gambar 45.



Gambar 43. Diagram alir proses unit biodiesel



Gambar 44. Gambar tiga dimensi unit biodiesel



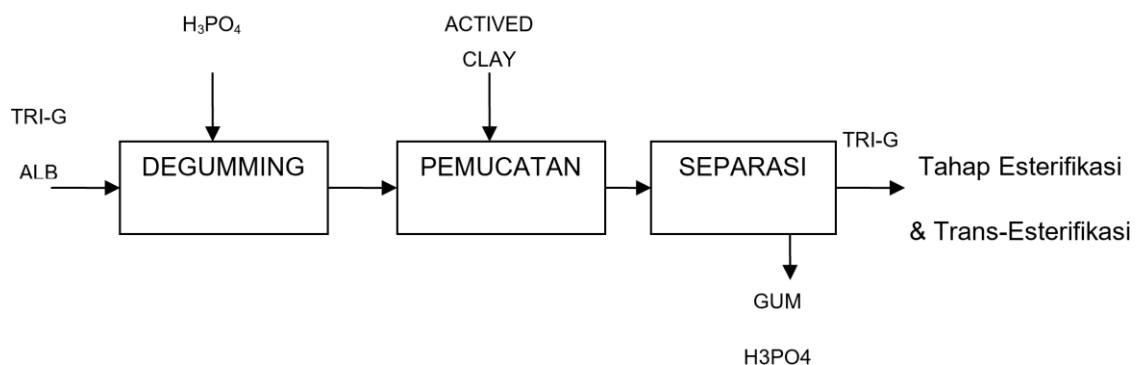
Gambar 45. Blok diagram unit biodiesel

2.2.14. Proses Produksi Biodiesel

Unit Preparasi Bahan Baku

Tahap pertama dalam pembuatan biodiesel adalah preparasi bahan baku sebelum diolah di Pilot Plant Biodiesel dimana bahan baku yang digunakan terdiri atas empat jenis yaitu, CPO, minyak jarak, CPO parit dan minyak jelantah. Pada umumnya CPO, minyak jarak dan CPO parit, kecuali minyak jelantah, yang digunakan dalam pembuatan biodiesel terdiri atas trigliserida dan asam lemak bebas yang mengandung senyawa phospatida (*gum*) sebesar $\pm 100 - 300$ ppm. Senyawa phospatida atau *gum* ini sangat mengganggu pada waktu penyimpanan produk biodiesel karena menyebabkan kekeruhan dan memicu terakumulasinya air dalam produk pada waktu penyimpanan, sehingga bahan baku yang akan digunakan dalam proses pembuatan biodiesel terlebih dahulu diolah dengan perlakuan proses *degumming* untuk menghilangkan senyawa phospatidanya.

Untuk menghilangkan gum tersebut maka perlu ditambahkan 0,036% berat H_3PO_4 ke dalam minyak nabati dan dipanaskan $90^\circ C$ selama 10 menit sambil diaduk. Kemudian naikkan suhu sampai $110^\circ C$ dan ditambahkan *active clay* sebanyak 0,08% berat sambil diaduk selama 30 menit untuk menyerap campuran gum dan asam fosfat tersebut yang selanjutnya dipisahkan dari minyak nabatinya sebelum dilanjutkan ke proses berikutnya. Blok diagram proses penghilangan gum tersebut seperti terlihat pada Gambar 46.



Gambar 46. Blok Diagram Unit Degumming

Unit *degumming* ini merupakan satu kesatuan dengan unit pilot plant biodiesel dimana proses *degumming* tersebut dapat dilakukan menggunakan unit-unit yang ada pada unit pilot plant biodiesel tanpa perlu penambahan unit tersendiri.

Unit Esterifikasi & Transesterifikasi

Tahap kedua dalam proses pembuatan biodiesel, bahan baku yang telah dipreparasi sebelumnya diesterifikasi dengan metanol sebanyak 1,5 kebutuhan teoritis menggunakan katalis H_2SO_4 sebanyak 3% berat yang direaksikan selama 1 jam, kemudian setelah proses tersebut dilakukan netralisasi untuk mengikat asam sulfatnya dengan NaOH dengan asumsi reaksi netralisasi berlangsung sempurna. Esterifikasi ini bertujuan untuk mengubah kandungan asam lemak bebasnya (ALB) menjadi metil ester dan air. Setelah proses netralisasi, dilakukan pemisahan trigliserida, produk metil ester dan metanol sisa reaksi dari Na_2SO_4 dan air hasil reaksi, dan sisa bahan yang tidak bereaksi bersama impuritasnya. Trigliserida dan produk metil ester yang telah dipisahkan tersebut dilakukan pencucian dengan air yang kemudian dipindahkan ke unit proses selanjutnya (proses transesterifikasi).

Tahap ketiga adalah proses transesterifikasi dimana Trigliserida yang telah bebas dari asam lemak bebasnya kemudian ditransesterifikasi menggunakan metanol dengan mol rasio CH_3OH /Trigliserida 10 dan katalis NaOH 1,3% berat yang sebelumnya telah dilarutkan dalam larutan metanol. Untuk menyempurnakan proses transesterifikasi tersebut dilakukan pengadukan selama 1 jam yang kemudian dilanjutkan dengan netralisasi menggunakan H_2SO_4 dengan asumsi reaksi berlangsung sempurna. Produk metil ester yang dihasilkan kemudian dipisahkan untuk memisahkannya dari Na_2SO_4 , dan air hasil reaksi, dan gliserol serta sisa bahan yang tidak bereaksi.

Pemurnian Produk & Recovery Metanol

Tahap keempat dalam proses pembuatan biodiesel adalah pemurnian produk biodiesel dan gliserol. Produk biodiesel yang telah dipisahkan masih mengandung

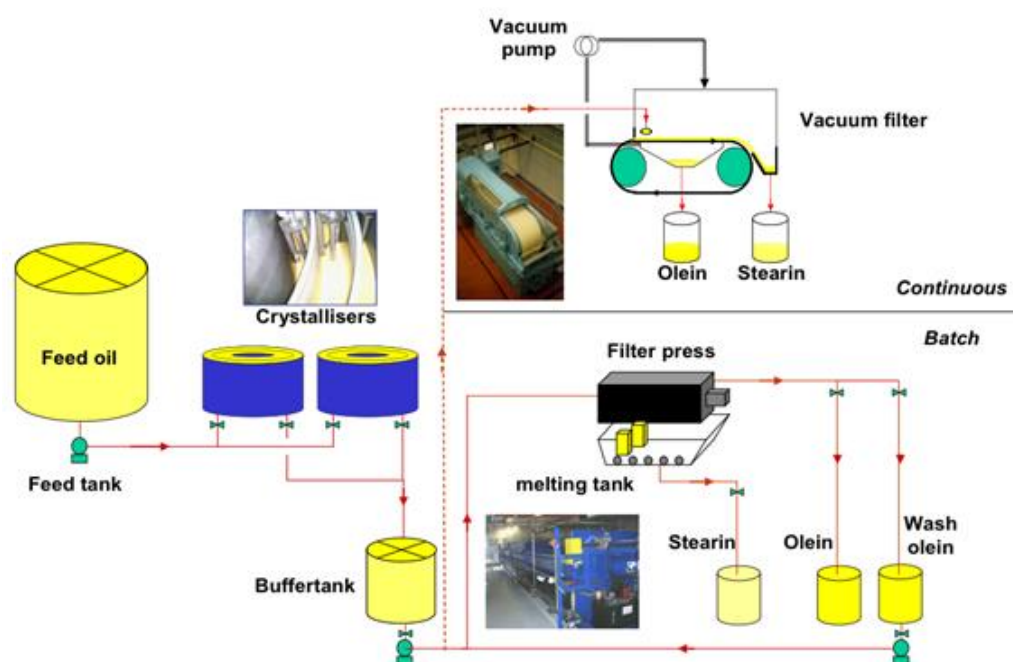
metanol dan air, untuk memisahkan metanolnya maka dilakukan pencucian dengan air. Produk biodiesel yang telah dipisahkan dari metanol masih mengandung sedikit air sehingga perlu dihilangkan dengan cara penguapan. Produk gliserol yang dihasilkan dimurnikan dengan jalan separasi sehingga terbebas dari bahan-bahan ikutannya.

Tahap kelima dalam pembuatan biodiesel adalah tahap *recovery* metanol dimana metanol yang terlarut dalam air pada waktu pencucian di tahap esterifikasi dan transesterifikasi didistilasi untuk mendapatkan kembali metanolnya sehingga pemakaian metanol menjadi lebih efisien.

2.2.15. Teknologi kristalisasi

Fraksinasi merupakan proses pemisahan minyak dan lemak menjadi dua komponen atau lebih berdasarkan kelarutan (solubility) dan melting point nya. Hal ini sudah di review oleh Timms dan Gibon bahwa less-soluble, higher fractions disebut stearins dan more soluble, lower melting fractions disebut oleins. Trigliserida palm oil terdiri dari campuran fatty acid dengan panjang rantai dan derajat kejenuhan yang berbeda. Proses kristalisasi minyak menggunakan pendingin kemudian diikuti proses pemisahan akan menghasilkan low-melting liquis phase (olein) dan high-melting solid phase (stearin). Palm oil mengandung sekitar 4-8% digliserida, yang dapat membentuk campuran eutectic dengan trigliserida menghasilkan solid konten yang lebih rendah. Hal ini dapat memperlambat laju kristalisasi. Palm oil juga mengandung monogliserida namun dalam jumlah yang sangat kecil. Kandungan monogliserida dalam palm oil hanya sebesar 1% sehingga tidak memiliki dampak yang signifikan pada proses kristalisasi. Laju pendinginan mempengaruhi proses nukleasi dan pertumbuhan kristal minyak. Ketika suhu cukup rendah (32-36°C), gliserida jenuh akan terkristalisasi dan kristal ini berperan sebagai nuclai bagi proses kristalisasi selanjutnya dari gliserida dengan titik lebur yang rendah, menghasilkan bentuk cluster yang lebih besar. Laju pendinginan yang rendah dan kecepatan pengadukan yang tepat dapat menghasilkan bentuk kristal yang diinginkan. 1) Dry Fractination Method Fraksinasi kering biasanya dilakukan secara semi kontinyu

menggunakan hasil netralisasi Palm Oil, hasil netralisasi dan bleaching Palm Oil, atau Refined Palm Oil. Tidak membutuhkan penambahan chemical atau zat additive. Minyak dijaga homogen pada suhu 70 °C agar tidak terbentuk kristal minyak terlebih dahulu sebelum proses kristalisasi dimulai dan dilanjutkan proses pendinginan. Terbentuknya kristal dan pertumbuhan kristal terjadi saat ada pengadukan dan pendinginan menggunakan sirkulasi chilled water. Pendinginan dikontrol dengan melakukan pengaturan perbedaan temperatur antara minyak dan chilled water, dan juga waktu pendinginan. Ketika suhu mencapai temperature yang diinginkan (biasanya pada 20 °C), bergantung pada kualitas olein yang dibutuhkan, pendinginan akan dihentikan dan sebagian massa yang mengkristal siap untuk di filtrasi. Perbedaan filtrasi yang digunakan sekarang di industry yaitu dengan drum rotary filter, stainless steel belt Florentine filters, dan membrane filter. Selama dekade terakhir, membrane filter yang sesungguhnya adalah filter press dilengkapi dengan membran plat. Semakin banyak digunakan JURNAL TEKNIK ITS Vol. 8, No. 1, (2019) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print) F54 karena memberikan hasil yield lebih tinggi (sekitar 70-75%) dan stearin yang lebih keras dibandingkan dengan 65% yang diperoleh dari Florentine atau rotary drum filter.



Gambar 47. Skema proses dry fractionation pemisahan Olein dan stearin yang berdasarkan proses kristalisasi

2.2.16. Teknologi distilasi

Pembuatan Distilat FAME Menggunakan Distilasi Tekanan Vakum 1 Plat dan Distilasi TBP 30 plat

Biodiesel merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang potensial untuk dikembangkan sebagai energi alternatif pengganti BBM dari minyak bumi. Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai sumber bahan baku, seperti minyak sawit, jarak pagar, biji bunga matahari dan sebagainya. Oleh sebab itu, sifat karakteristik produk biodiesel hasil produksi dari berbagai macam bahan baku tanaman bervariasi. Salah satu sifat karakteristik biodiesel yang sangat penting adalah sifat penguapan, karena terkait langsung dengan mutu proses pembakaran di mesin disel. Untuk menentukan sifat penguapan biodiesel digunakan alat distilasi tekanan vakum 1 plat yang biasa disebut sebagai Distilasi ASTM. Pada standar spesifikasi SNI 2019, dan beberapa Negara lainnya, sifat penguapan biodiesel ditetapkan, untuk perolehan distilat 90% vol., suhu uap tidak boleh melebihi 360 °C AET (Atmospheric Equivalent Temperature - Suhu pada Tekanan Atmosfir).

Pengujian sifat penguapan biodiesel, menggunakan alat uji distilasi tekanan vakum 1 plat sistem otomatis. Keakuratan hasil uji metoda distilasi tekanan vakum otomatis, sangat ditentukan oleh kombinasi ideal kondisi operasi alat seperti: daya pemanasan awal, daya pemanasan lanjutan, waktu pemanasan, suhu media pendingin dan tekanan vakum yang dipakai. Sesuai acuan standar ASTM, keberhasilan dan keakuratan hasil uji ditentukan berdasarkan sifat kestabilan tetesan distilat, yang nilainya antara 6 – 8 ml/menit pada tingkat perolehan distilat 10% s/d 90% vol.

Oleh sebab itu, metoda pembuatan distilat biodiesel menggunakan alat distilasi 1 plat, dan distilasi TBP 30 Plat, dilakukan dengan mengacu perolehan persentase distilat dan suhu pemotongan fraksi pada masing – masing metoda distilasi.

Distilasi Tekanan Vakum 1 Plat

Metoda uji distilasi tekanan vakum ASTM 1 plat merupakan metoda uji standar untuk menentukan sifat karakteristik penguapan produk minyak bumi atau produk lainnya yang dapat terdekomposisi bila didistilasi pada tekanan atmosfer. Metoda uji ini umumnya digunakan untuk analisis produk minyak bumi berat yang memiliki titik didih mulai 300 C sampai suhu titik didih akhir minyak bumi (end Point), seperti contoh bahan baku pelumas (Lube Base), Long Residue ataupun biodiesel. Sesuai acuan standar ASTM, proses distilasi dapat dilakukan pada kondisi tekanan vakum antara 1- 50 mmHg. Namun pada umumnya untuk pengujian biodiesel, digunakan tekanan vakum antara 1-5 mmHg. Kegunaan metoda uji distilasi ini, untuk pengujian produk minyak bumi berat- adalah sebagai data dasar untuk desain unit alat proses di Kilang. Sedangkan, pada pengujian biodiesel, metoda uji ini digunakan sebagai tolok ukur sifat penguapan biodiesel yang terkait langsung dengan mutu proses pembakaran di mesin disel. Selain itu teknik ini juga dapat digunakan untuk memisahkan kontaminan monogliserida pada produk biodiesel, dengan mempertimbangkan titik didih monogliserida yang relatif lebih tinggi dibandingkan senyawa biodiesel.

Biodiesel umumnya memiliki titik didih antara 300-360 C pada tekanan atmosfer- lebih rendah titik didihnya dibandingkan sampel uji Distilasi vakum pada umumnya. Ada juga produk biodiesel ringan seperti green disel (produk hidrotreating FAME) dan campuran biodiesel dan solar (B20, B10 atau B5), yang memiliki kisaran titik didih lebih rendah.

Prosedur metoda distilasi tekanan vakum 1 plat, mencakup pengamatan suhu IBP (Initial Boiling Point), kemudian dilanjutkan pencatatan suhu untuk setiap kenaikan 5% vol, distilat setelah suhu IBP, sampai 90% vol. distilat. Laporan hasil uji distilasi ini yakni suhu yang tercatat pada tingkat perolehan 90%. Vol. distilat. Pencatatan suhu dilakukan secara otomatis oleh alat uji Distilasi dengan sistem otomatis. Untuk contoh biodiesel, hasil uji yang dilaporkan sesuai standar ASTM adalah suhu pada tingkat 90% vol. distilat. Contoh biodiesel yang memenuhi spesifikasi SNI memiliki suhu uap dibawah 360 C pada tingkat 90%vol. distilat. Suhu uap biodiesel diatas suhu tersebut, mengindikasikan keberadaan senyawa metil ester yang memiliki ikatan rangkap lebih dari satu. Senyawa ini sangat tidak stabil dan mudah teroksidasi dan membentuk gum bila disimpan dalam waktu tertentu. Selain itu, senyawa ini memiliki sifat karakteristik yang cenderung membentuk padatan pada tekanan tinggi (solidification). Seperti diketahui, saat ini sistem injeksi bahan bakar

pada mesin disel didesain dengan tekanan tinggi, sehingga keberadaan senyawa-senyawa ini dikhawatirkan menyumbat saluran injeksi bahan bakar.

Alat uji distilasi tekanan vakum ASTM 1 plat, umumnya dikendalikan dengan sistem otomatis. Artinya, prosedur kerja alat distilasi dari awal kerja hingga diperoleh hasil uji, sepenuhnya dikendalikan program komputer. Peran operator disini, hanya melakukan preparasi contoh uji dan menyiapkan data kondisi operasi terkait program yang ingin digunakan dari jenis contoh biodiesel yang diuji. Namun pada kasus pengujian biodiesel, factor kemurnian contoh uji sangat berpengaruh pada metoda uji distilasi tekanan vakum. Karena hal ini sangat mempengaruhi kestabilan laju alir distilat yang telah ditentukan.

Seperti diketahui, biodiesel dibuat melalui proses reaksi kimia transesterifikasi menggunakan senyawa methanol. Proses transesterifikasi, selain menghasilkan produk biodiesel, juga produk samping serta sisa senyawa kimia yang tidak bereaksi. Untuk mendapatkan produk biodiesel sesuai standar spesifikasi yang ditentukan perlu dilakukan proses pemurnian yang memadai, untuk memisahkan kontaminan-kontaminan tersebut. Proses pemurnian yang baik akan menghasilkan produk biodiesel yang sesuai standar yang ditetapkan. Namun, bila proses pemurnian tidak dilakukan secara sempurna akan menghasilkan produk biodiesel yang tidak memenuhi standar, misalnya masih mengandung senyawa kontaminan yang cukup signifikan. Berbeda dengan produk minyak bumi, yang pada umumnya sudah terbebas dari senyawa kontaminan, sejak saat distilasi dijalankan.

Kontaminan monogliserida pada biodiesel dapat dipisahkan menggunakan distilasi kolom 1 plat ini. Monogliserida memiliki titik didih lebih tinggi dari FAME yang memiliki titik didih antara 300-360 C. Distilasi dilakukan pada kondisi vakum, karena seperti diketahui, pada tekanan vakum suhu titik didih suatu senyawa menjadi lebih rendah dari titik didih pada tekanan atmosfer. Sehingga prosedur distilasi dapat dilakukan tanpa menimbulkan kerusakan pada molekul senyawa FAME.

Metoda distilasi TBP 30 Plat

Metoda uji TBP ASTM D2892 merupakan metoda uji standar distilasi minyak bumi yang stabil (memiliki tekanan uap Reid (RVP) < 12 psi), menjadi fraksi-fraksi minyak bumi, menggunakan kolom distilasi 15 plat teoritis dan dioperasikan dengan rasio

refluks rasio 5 :1. Sesungguhnya jumlah plat pada kolom distilasi TBP adalah 30 buah. standar alat uji ini hanya memiliki efisiensi 60 % fraksionasi, sehingga jumlah plat teoritis –nya antara 14-18.

Pemotongan suhu distilasi TBP ditentukan oleh kebutuhan data masing–masing kilang atau kesepakatan dari pengguna data tersebut. Metoda uji ini hanya menjelaskan prosedur pemisahan produk minyak bumi menjadi bahan bakar miyak seperti : fraksi gas cair (LPG), fraksi nafta, fraksi kerosin, fraksi solar dan residu sampai pemotongan suhu distilat maksimum 400 C AET (Atmospheric Equivalent Temperature – Suhu pada tekanan atmosfer). Produk hasil uji metoda ini merupakan data kurva distilasi yang menyatakan hubungan antara suhu distilat (cut Point) dengan jumlah fraksi yang dihasilkan dalam % volume atau % berat (yield).

Metoda uji Distilasi TBP ASTM D2892 dilakukan secara batch di laboratorium sampai suhu titik didih distilat maksimum 400 C (AET). Awalnya distilasi minyak bumi dilakukan pada kondisi tekanan atmosfer sampai suhu atas (suhu uap) maksimum 210 C atau suhu bawah (suhu cairan di labu) maksimum 310 C. Seperti diketahui Minyak bumi akan mengalami perengkahan (cracking), bila dipanasi melebihi suhu diatas. Untuk menghindari hal tersebut, distilasi dilakukan pada kondisi Vakum dengan rentang kondisi tekanan antara 2 mmHg sampai 100 mmHg. Umumnya distilasi dilakukan pada tekanan vakum 100 mmHg atau 40 mmHg sampai suhu 300 C, kemudian dilanjutkan lagi menggunakan tekanan vakum 5 atau 10 mmHg sampai suhu distilat maksimum 400 C AET. Penggunaan tekanan vakum berpengaruh pada laju alir uap ke dalam kolom dan durasi waktu distilasi. Semakin rendah tekanan vakum semakin lama waktu distilasi untuk menghasilkan fraksi distilat.

Untuk uji distilasi diatas suhu 400 C sampai suhu titik didih akhir (End Point) digunakan alat uji Potstill, yang merupakan standar uji ASTM D5236. Titik didih akhir suatu contoh minyak bumi umumnya berada pada klsaran 530-560 C, tergantung dari jenis dan klasifikasi minyak bumi tersebut. Data hasil uji antara distilasi TBP ASTM D2892 dan Distilasi Potstill ASTM D5236 dibuat menjadi satu kurva distilasi TBP.

Kombinasi Hasil kurva distilasi TBP ini harus direkontruksi kembali, karena seperti telah dijelaskan, Distilasi TBP D2892 dan Distilasi ASTM D5236 memiliki perbedaan pada alat uji. Distilasi ASTM D2892 menggunakan kolom distilasi

dengan jumlah plat teoritis 15 dan rasio refluks 5 : 1, sementara Distilasi ASTM D5236 hanya menggunakan 1 plat dan rasio refluks 1:1.

Pembuatan distilat biodiesel menggunakan distilasi TBP, menggunakan tekanan 5 mmHg. Rentang titik didih biodiesel yang berkisar umumnya antara suhu 310 – 360 C, sementara kontaminan monogliserida memiliki titik didih 450 C, secara metodologi dapat dilakukan pemisahan kontaminan tersebut dengan tekanan 5 mmHg yang biasa dilakukan untuk umpan minyak bumi.

Pemotongan suhu untuk pembuatan distilat biodiesel dilakukan berdasarkan rentang titik didih biodiesel, mengikuti fraksi pemotongan suhu berikut:

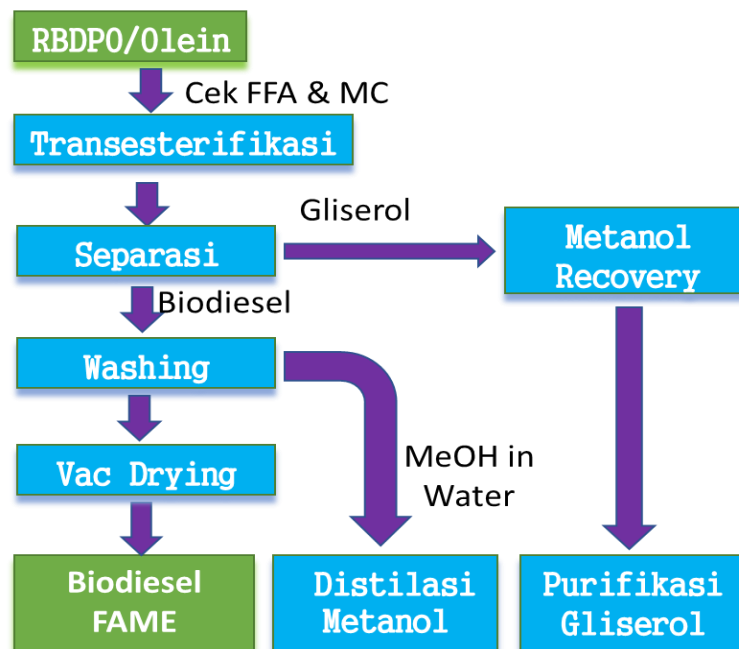
- IBP-300 C
- 300-330 C
- 330-335 C
- 335-340 C
- 340-345 C

Setiap fraksi distilat pada pemotongan suhu diatas diuji kandungan monogliserida. Asumsi dan hipotesa yang dikembangkan menggunakan distilasi kolom 30 plat yang dilengkapi refluksi ini, adalah diharapkan produk distilat biodiesel yang dihasilkan dapat lebih murni dengan kandungan monogliserida lebih rendah. Hal ini disebabkan tingkat pemisahan suhu fraksi, menggunakan distilasi TBP lebih baik dibandingkan distilasi 1 plat. Selain produk distilat untuk kebutuhan campuran bahan bakar solar, produk distilat biodiesel pada fraksi biodiesel lainnya dapat digunakan sebagai produk bahan baku pembuatan oleokimia.

B. METODOLOGI

2.2.1 Proses Utama Trans-esterifikasi

Kegiatan penelitian optimasi atau peningkatan kualitas biodiesel yang diarahkan untuk mendapatkan kadar Monogliserida (MG) serendah mungkin (target dibawah 0,3%) diawali dengan kegiatan percobaan pembuatan biodiesel dalam skala laboratorium. Melalui percobaan di laboratorium ini diharapkan dapat diperoleh kondisi operasi yang optimum atau terbaik dalam menghasilkan produk biodiesel dengan kadar MG terbaik. Di skala laboratorium ini dengan kapasitas percobaan yang tentunya terbilang kecil ini dapat dilakukan serangkaian percobaan yang memvariasikan beberapa kondisi operasi dan formula campuran reaktan sehingga memungkinkan untuk mendapatkan kondisi operasi yang terbaik dari serangkaian *run* atau *batch* dari percobaan tersebut. Hasil terbaik dari percobaan pembuatan biodiesel di skala laboratorium ini akan menjadi acuan untuk diterapkan dalam pembuatan biodiesel pada skala yang lebih besar yakni skala pilot plant.



Gambar 48. Proses utama produksi biodiesel.

Uji coba batch pembuatan biodiesel skala laboratorium dilakukan menggunakan labu reaksi berukuran 5 L yang dilengkapi dengan heating mantle atau jaket pemanas yang dapat diatur suhu pemanasan yang diinginkan. Alat labu reaksi ini juga dilengkapi dengan pengaduk atau mechanical stirrer yang dapat diatur speed atau kecepatan putaran (Rpm) serta condensor untuk menjaga metanol saat reaksi agar tetap dalam fase cair.

Tabel 7. Matriks percobaan Trans-esterifikasi

No.	Tgl.	Jenis Variasi							Keterangan
		Umpan	Waktu Settling 0	Jumlah Metanol	Jumlah Katalis	Waktu Reaksi	Washing	Hasil MG	
1.	20/02/2020	Jelantah 1,5L	1 jam	50%	1%	1 jam	2x	1.65%	Washing 1 &2: 50% &100%, Stirrer speed 3
2.	10/03/2020	M Curah 1,5L	1 jam	50%	1%	1 jam	2x	1.66%	Washing 1 &2: 50% &100%, Stirrer speed 3
3.	10/06/2020	M Curah 1,5L	1 jam	50%	1%	1 jam	2x	1.25%	Washing 1 &2: 50% &100%, Stirrer speed 4
4.	16/06/2020	M Curah 2L	2 malam	50%	1%	2 jam	3x	1.06%	Washing 1,2,3: 50,75,100%, Stirrer speed 4
5.	24/06/2020	M Curah 1,5L	1 malam	60%	1%	2 jam	3x	1.8%	Washing 1,2,3: 50,75,100%, Stirrer speed 4
6.	22/07/2020	M Curah 1,5L	1 malam	40%	1%	2 jam	3x	0.68%	t reaction 2 hrs, Temp Reaction 63-65 °C
7.	04/08/2020	Jelantah 1,5L	1 malam	40%	1%	2 jam	3x	1.36%	t reaction 2 hrs, Temp Reaction 63-65 °C
8.	10/08/2020	M Curah 1,5L	1 malam	30%	1%	2 jam	3x	1.45%	t reaction 2 hrs, Temp Reaction 63-65 °C
9.	13/10/2020	M Curah 3L	1 malam	40%	1%	2 jam	3x	1.25%	Katalis Sodium Metilate PT. Darmex
10.	15/10/2020	RBDPO 3L	1 malam	40%	1%	2 jam	3x	0.87%	Katalis Sodium Metilate PT. Darmex
11.	15/10/2020	RBDPO 400L	1 jam	40%	1%	2 jam	3x	0.83%	Katalis NaOH



Gambar 49. Kegiatan produksi biodiesel pada pilot plant biodiesel LEMIGAS.

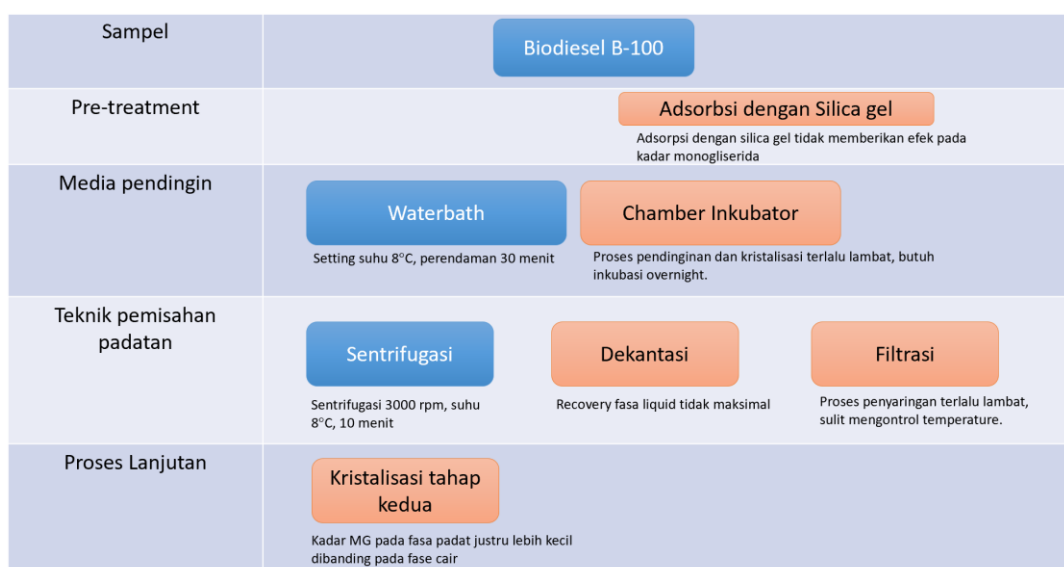
Mengawali percobaan, digunakan 2 jenis bahan baku yang tersedia dan mudah didapat untuk lebih cepat memulai penelitian yakni minyak jelantah dan minyak goreng curah yang diperoleh dari pasar. Kondisi operasi menggunakan kondisi yang sudah menjadi standar atau sering dilakukan di Lemigas yakni waktu reaksi 1 jam, kecepatan pengadukan speed 3, waktu settling pasca reaksi 1 jam dan frekuensi washing sebanyak 2 kali. Sedangkan formula reaksi digunakan juga formula baku yang sering dilakukan di lemigas yakni kadar katalis 1% dari bahan baku atau minyak dan jumlah metanol 50% dari jumlah minyak.

2.2.2 Kristalisasi

Metode yang digunakan untuk proses kristalisasi adalah metode eksperimental laboratorium untuk memperoleh data hasil. Monogliserida dikristalisasi dengan 2 alat pendingin, *chiller* dan *incubator*. Kondisi optimum kristalisasi diperoleh dengan memvariasi perbandingan volume/massa dan waktu terbentuknya kristal. Solid dan liquid yang diperoleh, selanjutnya diuji kadar monogliseridanya.

Teknik kristalisasi didasarkan pada proses pemisahan fasa cair-padat. Serangkaian percobaan dilakukan dari tahap pretreatment, pemilihan media pendingin, teknik pemisahan padatan dengan cairan, dan juga proses lanjutan tahap kedua.

Pada tahap pre-treatment, dilakukan percobaan settling dalam container, dan percobaan adsorbs dengan menggunakan silica gel. Percobaan settling dilakukan dengan menggunakan botol 1 liter dan didiamkan selama satu malam. Dilakukan pengambilan sampel pada berbagai ketinggian untuk kemudian diukur kadar monogliseridanya. Untuk percobaan adsorpsi dilakukan dalam tabung reaksi, dimana 50 mL sampel B100 dimasukkan ke dalamnya dan kemudian ditambahkan 2 gram silica gel. Dilakukan pengocokan selama 3 kali dalam rentang waktu 30 menit. Kemudian sampel cairan disampling untuk diuji monogliseridanya. Kedua percobaan tersebut dilakukan dengan menggunakan suhu ruang.



Gambar 50. Rangkaian Eksperimen Kristalisasi FAME

Dua media pendingin diujicobakan dalam kegiatan ini, yaitu air dan udara. Untuk pendingin air, sampel dicelupkan dalam waterbath. Sedangkan untuk pendingin udara, sampel dimasukkan dalam incubator pendingin. Parameter yang diamati adalah kecepatan terbentuknya kristal.

Setelah kristal terbentuk, Langkah selanjutnya adalah pemisahan padatan dan cairan. Tiga jenis teknik pemisahan diujicobakan yakni dekantasi, filtrasi, dan sentrifugasi. Teknik dekantasi dilakukan dengan cara menuangkan cairan secara perlahan. Dengan cara ini pemisahan dapat dilakukan dengan cepat, tetapi masih banyak cairan yang terperangkap dalam padatan dan sebaliknya terdapat padatan yang terbawa dituang. Teknik filtrasi dilakukan dengan penyaringan menggunakan kertas saring teknik, dilakukan pada suhu terkontrol. Pemisahan dapat dilakukan dengan baik, tetapi kesulitannya adalah waktu yang dibutuhkan lebih lama, serta sulit mempertahankan suhu. Teknik yang berhasil adalah dengan sentrifugasi dengan menggunakan centrifuge berpendingin. Kecepatan yang digunakan adalah 3000 RPM dan durasi 10 menit. Dengan kondisi tersebut, pemisahan dapat dilakukan dengan baik dan cepat.

Langkah kerja kristalisasi monogliserida dilakukan dengan menggunakan chiller waterbath. Waterbath disiapkan/setpoint pada temperature 8°C. Sampel biodiesel disiapkan sebanyak 300 mL dengan berat sampel 240 gram ke dalam botol plastic transparan. Sampel celupkan ke dalam waterbath dan dilakukan pengamatan pembentukan kristal. Waktu pencelupan divariasikan mulai dari 20 hingga 120 menit. Fasa padat dan liquid yang terbentuk dipisahkan dengan sentrifugasi dingin yang juga dikondisioning pada temperature 8°C. Hasil masing-masing fasa ditimbang kembali dan ditentukan kadar monogliseridanya.

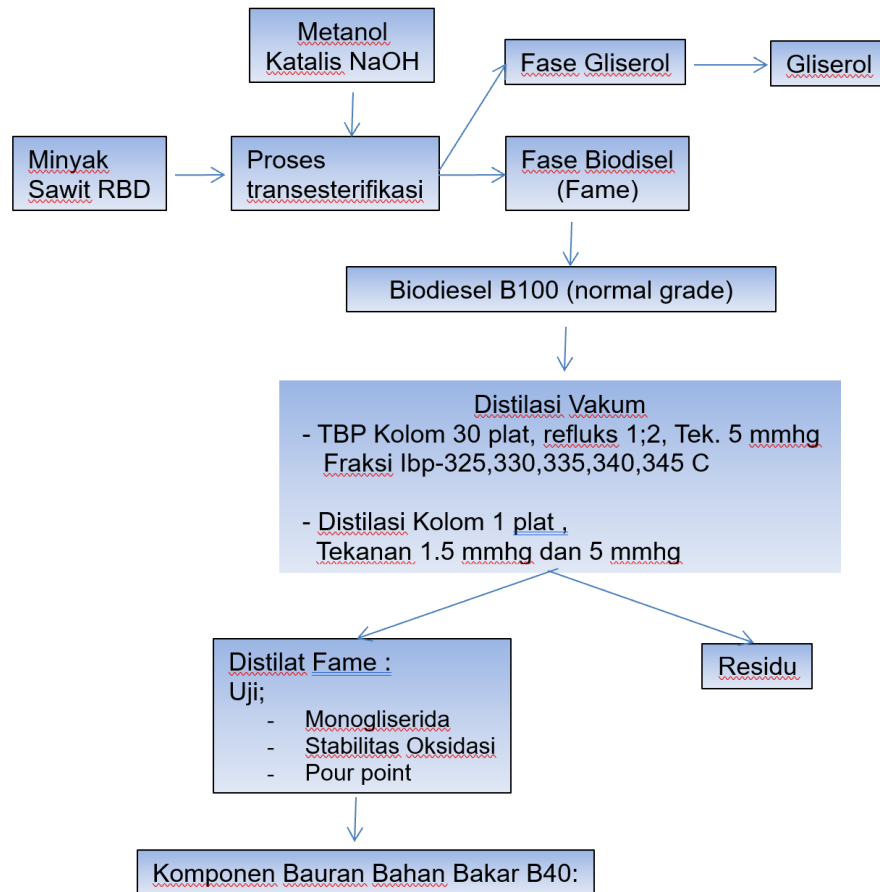
Kristalisasi Stage 2 dilakukan dengan prosedur kerja yang sama, dengan menggunakan sampel yang berasal dari akumulasi fraksi cair hasil tahap sebelumnya.

2.2.3. Distilasi

Distilasi merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk mengurangi kadar monogliserida dalam produk biodiesel. Monogliserida memiliki titik didih lebih tinggi dari produk biodiesel pada umumnya. Titik didih produk biodiesel umumnya berada dalam rentang 300-360 °C, sementara monogliserida umumnya memiliki titik didih >450 °C. Oleh sebab itu, metoda distilasi ini merupakan salah satu metoda yang cukup diandalkan untuk mendapatkan produk biodiesel dengan kadar monogliserida yang rendah, dengan memisahkan komponen monogliserida sebagai residu

Hal yang perlu diperhatikan dalam menerapkan metoda distilasi untuk mengurangi kadar monogliserida pada biodiesel adalah kondisi operasi suhu dan tekanan yang digunakan. Biodiesel dan monogliserida merupakan senyawa yang memiliki titik didih relatif tinggi, sehingga operasi distilasi harus dilakukan pada tekanan rendah (vakum) dan suhu pemanasan rendah. Tekanan vakum digunakan untuk menurunkan titik didih komponen umpan, agar tidak terjadi pemecahan ikatan molekul pada senyawa tersebut pada suhu tinggi. Selain itu, pemanasan suhu tinggi juga, berpotensi pada pembentukan emulsi antara monogliserida, biodiesel dan air. Meskipun kadar airnya relatif rendah. Bila terjadi emulsi, monogliserida akan sulit dipisahkan dengan metoda distilasi ini. Oleh sebab itu, pada metoda distilasi suhu pemanasan, dijaga tidak melebihi suhu 230 °C.

Penelitian dan uji coba penggunaan metoda distilasi untuk mengurangi kadar monogliserida pada produk biodiesel, dilakukan menggunakan rangkaian distilasi otomatis yakni Distilasi Vakum kolom 1 plat dan Distilasi vakum True Boiling Point (TBP) kolom 30 plat menggunakan refluks 1:2.



Gambar 51. Skema percobaan pembuatan FAME yang dilanjutkan dengan proses distilasi

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.3.1 Proses Utama Trans-esterifikasi

Mengawali percobaan, digunakan 2 jenis bahan baku yang tersedia dan mudah didapat untuk lebih cepat memulai penelitian yakni minyak jelantah dan minyak goreng curah yang diperoleh dari pasar. Kondisi operasi menggunakan kondisi yang sudah menjadi standar atau sering dilakukan di Lemigas yakni waktu reaksi 1 jam, kecepatan pengadukan speed 3, waktu settling pasca reaksi 1 jam dan frekuensi washing sebanyak 2 kali. Sedangkan formula reaksi digunakan juga formula baku yang sering dilakukan di Lemigas yakni kadar katalis 1% dari bahan baku atau minyak dan jumlah metanol 50% dari jumlah minyak.

Hasil yang diperoleh dari 2 batch menggunakan 2 jenis bahan baku berbeda tetapi kondisi operasi dan formula yang sama didapat hasil produk biodiesel yang kadar Mgnya nyaris sama yakni 1,65% dan 1,66%. Oleh karena itu percobaan dimodifikasi karena nilai MG yang didapat masih terlalu besar dari yang diharapkan. Modifikasi dilakukan dengan dasar pemikiran atau teori bahwa Nilai MG yang tinggi mengindikasikan bahwa reaksi yang terjadi tidak sempurna karena Monogliserida sebagai produk intermediate atau produk antara seharusnya terkonversi menjadi metil ester. Secara teori stoikiometri mekanisme reaksi transesterifikasi proses reaksi berawal dari pemecahan ikatan rangkap tiga dari senyawa awal minyak nabati yang mengandung trigliserida yang pecah pertama kali menjadi metil ester pertama dan digliserida kemudian digliserida pecah kembali menjadi metil ester kedua dan monogliserida dan terakhir monogliserida ini seharusnya terkonversi lagi menjadi metil ester ke-3 apabila reaksi berlangsung secara sempurna.

Faktor penyebab ketidaksempurnaan reaksi sangat banyak. Namun dalam penelitian ini identifikasi penyebab ketidaksempurnaan reaksi dimulai dari hal yang kecil seperti pengaturan kecepatan pengadukan. Semula speed pengadukan adalah speed 3 kemudian ditingkatkan menjadi speed 4 sebagai speed yang optimum karena kalau dinaikan lagi campuran reaksi terlalu bergejolak,

Percobaan batch ke-3 dilanjutkan menggunakan minyak curah saja karena sebelumnya diketahui umpan baik minyak curah dan minyak jelantah memiliki hasil kadar MG yang sama. Dengan hanya merubah kecepatan pengadukan di speed 4 sementara kondisi operasi dan formula reaksi tetap sama didapatkan hasil batch ke-3 berupa biodiesel dengan kadar MG sebesar 1,25%. Sehingga dapat disimpulkan

kecepatan pengadukan di speed 4 merupakan kecepatan optimum dan dipakai sebagai kecepatan pengadukan permanen untuk batch percobaan berikutnya,

Modifikasi selanjutnya disamping kecepatan pengadukan adalah frekuensi tahap pencucian (washing) produk biodiesel dari semula sebanyak 2 kali ditingkatkan menjadi 3 kali agar lebih bersih dari sisa-sisa kotoran dan mungkin MG terlarut. Disamping itu dilakukan juga modifikasi secara bersamaan dengan frekuensi washing yakni lama reaksi dari semula reaksi berlangsung 1 jam ditambah menjadi 2 jam dengan harapan semakin lama reaksi terjadi semakin sempurna konversi dari keseluruhan reaktan menjadi produk utama. Modifikasi frekuensi washing dan durasi reaksi dilaksanakan pada batch ke-4 dengan kondisi operasi dan formula tetap sama seperti batch sebelumnya. Hasil MG yang diperoleh dari batch ke-4 ini adalah sebesar 1.06% artinya terjadi penurunan sedikit sebagai akibat modifikasi tersebut.

Hasil dari modifikasi yang dilakukan masih belum mencapai nilai MG yang ditargetkan dalam penelitian ini, oleh karena itu dilakukan modifikasi lain yakni dari sisi kadar campuran metanol dalam minyak yang semula ditetapkan sesuai standar yakni 50% ditingkatkan menjadi 60% dengan asumsi semakin banyak kadar metanol dalam umpan akan menggeser reaksi transesterifikasi yang merupakan reaksi kesetimbangan ke arah kanan dalam stoikiometri reaksi atau ke arah pembentukan produk utama. Modifikasi ini dilakukan dalam batch percobaan ke-5 seperti terlihat di tabel 7 Matriks percobaan transesterifikasi. Hasil batch ke-5 didapat kadar MG sebesar 1,8%. Hasil ini menyimpang jauh dari teori yang diacu di awal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya batas berlebih metanol dalam reaksi transesterifikasi. Metanol berlebih yg masih efektif dalam reaksi transesterifikasi adalah sebesar 50% dari volume minyak nabati sehingga metanol yang berlebih di atas 50% akan berdampak pada reaksi yang justru terjadi tidak sempurna sehingga mengakibatkan produk biodiesel memiliki kandungan MG yang tinggi.

Batch selanjutnya yakni batch ke-6 dilakukan modifikasi yakni pengurangan kadar campuran metanol/minyak menjadi sebesar 40% serta dengan kondisi operasi temperatur reaksi yang dikurangi dari semula pada batch-batch sebelumnya sebesar 65-68⁰C diturunkan ke 62-65⁰C. Penurunan suhu ini didasarkan pada titik didih metanol yang diketahui sebesar 65⁰C sehingga temperatur reaksi dijaga dibawah 65⁰C untuk menghindari losses dari metanol yang tidak bereaksi. Hasil pada batch ke-

6 ini memberikan kadar MG yang mengalami penurunan secara signifikan yakni menjadi sebesar 0,68%.

Modifikasi tetap dilanjutkan untuk dapat terus menurunkan kadar MG dalam produk Biodiesel. Pada batch ke-7 dengan menggunakan kondisi operasi seperti batch ke-6 hanya umpan digunakan minyak jelantah ternyata didapat kadar MG yang lebih tinggi yakni sebesar 1,36%. Hal ini kemungkinan disebabkan karena minyak jelantah yang digunakan sudah off spec atau kadar FFA yang jauh lebih besar dari FFA dalam minyak goreng curah.

Batch selanjutnya yakni batch ke-8 kembali digunakan minyak goreng curah namun dengan kondisi operasi yang divariasikan kadar campuran metanol /minyak yakni sebesar 30% atau diturunkan dari kadar batch ke-6 yang sebesar 40%. Hasil yang didapat dari batch ke-8 adalah kadar Mg sebesar 1,45% yang juga terbilang makin jauh dari kadar MG batch ke-6 yang merupakan batch terbaik kadar Mgnya.

Pada batch ke-9 dicoba menggunakan katalis yang biasa dipakai di pabrik biodiesel komersial yakni sodium methylate yakni sebesar 40% kadar pencampuran dalam minyak goreng curah. Hasil yang didapat kadar MG diperoleh sebesar 1,25%. Hal ini mengindikasikan dalam skala laboratorium penggunaan katalis industri kurang tepat karena kondisi operasi maupun parameter operasi yang jauh berbeda antar di skala laboratorium dengan skala industri.

Batch selanjutnya yakni batch ke-10 percobaan diarahkan mendekati kondisi di industri biodiesel komersial yang umumnya menggunakan bahan baku RBDPO sehingga batch ke-10 atau batch terakhir percobaan di skala laboratorium menggunakan umpan RBDPO dan katalis industri juga yakni sodium Methylate serta tetap menggunakan kondisi operasi terbaik yakni batch ke-6. Hasil batch terakhir ini diperoleh kadar MG sebesar 0,87%. Hal ini dapat dipahami karena penggunaan pasangan bahan baku RBDPO dan Katalis sodium methylate yang keduanya merupakan material yang dipakai dalam skala industri komersial. Kedua material bahan baku dan katalis tersebut juga dipakai dalam kondisi masih fresh atau kualitas yang baik.

Dari hasil serangkaian percobaan sebanyak 10 batch yang dilakukan di skala laboratorium ini maka dapat disimpulkan penggunaan material bahan baku ataupun katalis yang memberikan hasil kadar MG terbaik adalah kondisi operasi batch ke-6.

Sehingga kondisi operasi ataupun formula reaksi batch ke-6 ini layak untuk diaplikasikan di skala pilot plant.

Tabel 8. Karakteristik Biodiesel Produk dari Pilot Plant

Penetapan	Metode/Teknik	Nilai	Spesifikasi	Satuan
Density	ASTM D 4052	0,8592	0,85 – 0,89	g/cm ³
Gliserol total	SNI 7182 : 18	0,28	Max 0,24	% wt
Gliserol bebas	SNI 7182 : 18	0,029	Max 0,02	% wt
Kadar metil ester	Calculated	97,34	Min 96,5	% wt
Angka iodium	SNI 7182 : 18	51,33	Max 115	g-I ₂ /100g
Pour Point	ASTM D 97	12	CFPP min (15)	°C
PMCC	ASTM D 93	174	Min 130	°C
Viscositas	ASTM D 445	5,185	2,3 – 6,0	Cst
MG	SNI 7182 : 18	0,49	Max 0,55	%w

Percobaan di skala pilot plant menggunakan umpan minyak nabati RBDPO seperti halnya yang umum dipakai di skala industri komersial. Formula reaksi persis sama dengan kondisi di skala laboratorium batch ke-6 yakni kadar metanol/minyak sebesar 40%, katalis yang dipakai adalah NaOH 1% dan bukan katalis Industri. Waktu reaksi 2 jam dan temperatur reaksi di 62-65°C dan proses washing dilakukan sebanyak 3 kali. Jumlah bahan baku RBDPO yang direaksikan di skala pilot plant ini sebanyak 400L. Hasil produk biodiesel dari proses di pilot plant ini memiliki kadar MG sebesar 0,49%. Hal ini dapat dipahami karena proses di skala pilot plant yang lebih mendekati skala industri tentunya berbeda dari sisi peralatan dan proses yang terjadi, seperti di reaktor skala pilot ini disamping dilengkapi dengan stirer dan kondensor seperti halnya di skala laboratorium namun masih terdapat tambahan jalur sirkulasi di reaktor sehingga proses reaksi akan lebih sempurna terjadi di reaktor skala pilot plant ini. Proses yang terjadi di reaktor ini sangat menentukan didalam menjaga kesempurnaan reaksi yang secara tidak langsung akan berdampak pada kualitas MG dari produk biodiesel yang dihasilkan. Proses dan peralatan yang ada di skala pilot plant ini jelas lebih sempurna dan memudahkan di dalam handling dan kontrol pelaksanaan operasi reaksi transesterifikasi. Proses selanjutnya setelah melewati reaktor seperti separasi washing dan drying juga akan lebih efektif terjadi di skala pilot plant ini sehingga

sangat memungkinkan apabila dihasilkan biodiesel dengan kualitas MG yang lebih baik di skala pilot ini.

2.3.2 Hasil Kristalisasi

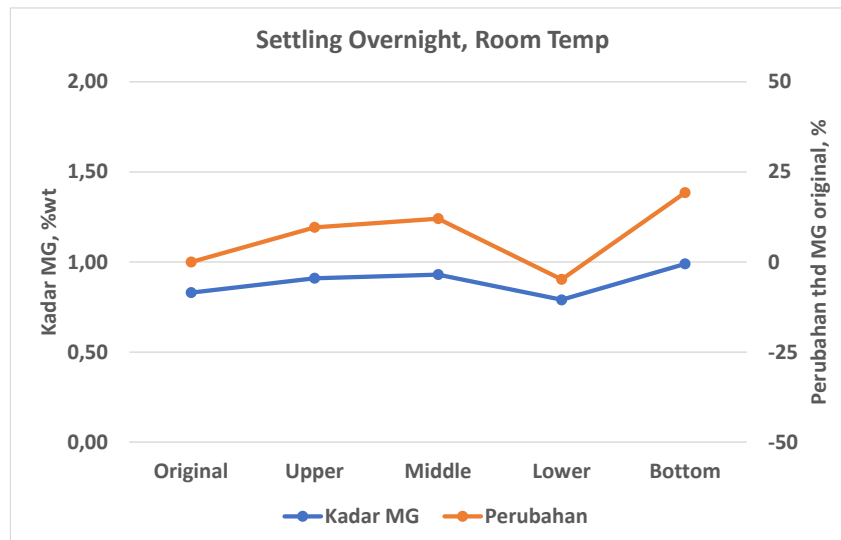
Eksperimen kristalisasi menghasilkan pemisahan sampel menjadi 2 fasa yaitu fraksi cair dan fraksi padat. Fraksi padat didominasi oleh komponen biodiesel jenuh, sedangkan fraksi cair didominasi oleh komponen tak jenuh. Produk akhir yang direcovery adalah fraksi cair. Karena itu, pengukuran kadar monogliserida dilakukan pada fasa cair tersebut. Beberapa kondisi operasi divariasikan dalam eksperimen, dan efek masing-masing kondisi diuraikan pada bagian selanjutnya.

Persentase perubahan kadar MG setelah perlakuan dibandingkan dengan kadar MG original dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{perubahan kadar MG} = \frac{\text{kadar MG (treatment)} - \text{kadar MG (original)}}{\text{kadar MG (original)}} \times 100\%$$

Angka positif menunjukkan kenaikan kadar MG, sedangkan angka negative menunjukkan penurunan kadar MG.

Percobaan pertama yang dilakukan adalah mengetahui efek settling pada konsentrasi monogliserida. Settling FAME dilakukan dalam botol dengan ketinggian cairan 18 cm, waktu settling adalah 1 malam pada suhu ruang. Pada Gambar 52 ditampilkan hasil pengukuran MG pada level upper, middle, lower, serta bottom. Pada grafik terlihat bahwa tidak ditemukan trend tertentu antara level atas dan bawah, yang mana perubahannya berada dalam kisaran $\pm 10\%$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada ketinggian level yang relatif rendah tidak teramati pengaruh settling terhadap kadar MG.



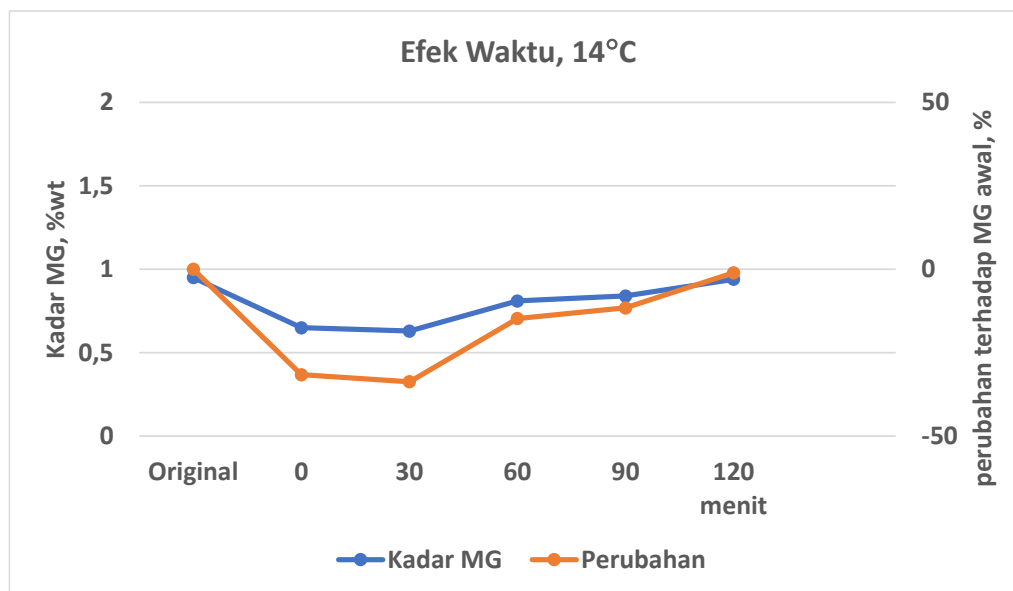
Gambar 52. Pengaruh settling terhadap kadar monogliserida. Settling FAME dalam botol dengan ketinggian cairan 18 cm, waktu settling 1 malam suhu ruang.

Pada tahap awal eksperimen, dilakukan percobaan pendahuluan untuk menentukan media pendingin yang cocok untuk melakukan kristalisasi. Sebagaimana dipaparkan pada bab metodologi, peralatan yang dipakai adalah waterbath dan inkubator. Water bath menggunakan media air, sedangkan inkubator menggunakan media udara dingin. Hasil eksperime menunjukkan bahwa pendinginan dengan incubator kurang efektif karena dibutuhkan waktu hingga semalam untuk medinginkan sampel untuk mencapai suhu yang diinginkan. Adapun dengan menggunakan waterbath, waktu yang dibutuhkan hanya dalam hitungan menit sampai jam saja. Oleh karena itu, untuk eksperimen selanjutnya digunakan waterbath.

Selain media pendingin, penyaringan, dekantasi, sentrifugasi

Parameter kristalisasi pertama yang divariasikan dalam percobaan adalah suhu kristalisasi. Gambar 53 menampilkan grafik pengaruh suhu kristalisasi dengan kadar MG dalam fasa cair setelah kristalisasi. Seperti terlihat pada gambar, terdapat trend bahwa kadar monogliserida relatif tidak berubah seiring dengan penurunan temperatur. Dalam percobaan tahap awal ini, kristalisasi mulai terjadi pada suhu 14°C, dan penuruan suhu dicobakan hingga 9°C. Sepanjang rentang suhu tersebut, kandungan monogliserida yang tersisa pada fasa cair berfluktuasi pada kisaran 64-75 % dari kadar awal, atau diperoleh penurunan sebesar 18-36% dari kadar MG pada sampel original.

Secara teoritis, angka kelarutan MG menurun seiring dengan penurunan suhu, dan cenderung terpresipitasi sebagai padatan. Akan tetapi pada saat yang bersamaan komponen jenuh lain juga mengkristal sehingga secara keseluruhan fraksi cair semakin berkurang. Pada akhirnya, tampak bahwa kristalisasi MG dan fraksi padat berjalan beriringan sepanjang penurunan suhu. Dengan demikian, kadar MG dalam masing-masing fraksi cenderung tetap.



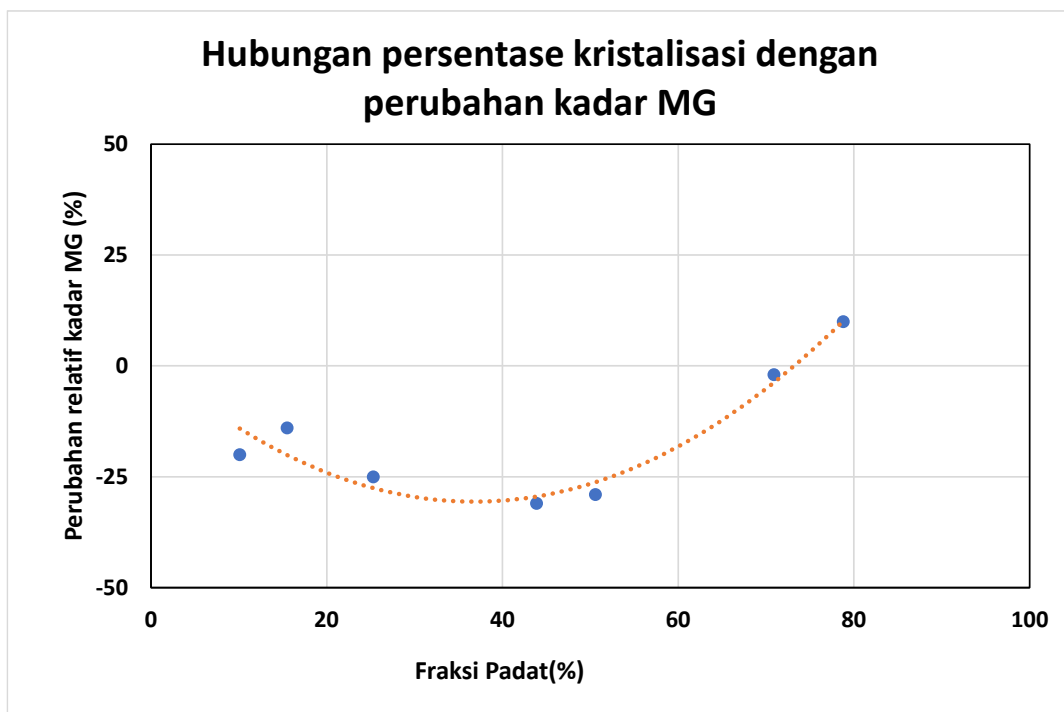
Gambar 53. Hubungan antara waktu kristalisasi dengan kadar MG pada fase liquid serta persentase perubahannya dibanding sampel awal. Suhu kristalisasi adalah 14°C.

Gambar 53 menampilkan grafik pengaruh waktu kristalisasi terhadap kadar MG dalam fasa cair setelah kristalisasi. Seperti terlihat pada gambar, terdapat trend bahwa kadar monogliserida semakin naik seiring dengan bertambahnya waktu. Percobaan kristalisasi ini dilakukan pada 5 botol sampel dan dilakukan pada suhu tetap yakni 14°C. Saat jumlah kristal teramati signifikan, ditandai sebagai menit ke-0, terhadap botol 1 dilakukan pemisahan fasa padat dan cair. Pemisahan fraksi padat cair untuk botol berikutnya dilakukan beselang 30 menit hingga 120 menit. Pada fraksi cair menit ke-0 diperoleh kandungan MG sebesar 65% dari konsentrasi awal. Pada sampel menit ke-120, kandungan MG meningkat hingga mendekati sampel original.

Trend ini terjadi karena semakin lama waktu kristalisasi, fraksi padat semakin meningkat. Adapun MG tak jenuh tidak ikut mengendap dalam fasa padat, tersisa

pada fasa cair yang volumenya semakin berkurang. Akibatnya, konsentrasi MG pada fasa cair meningkat.

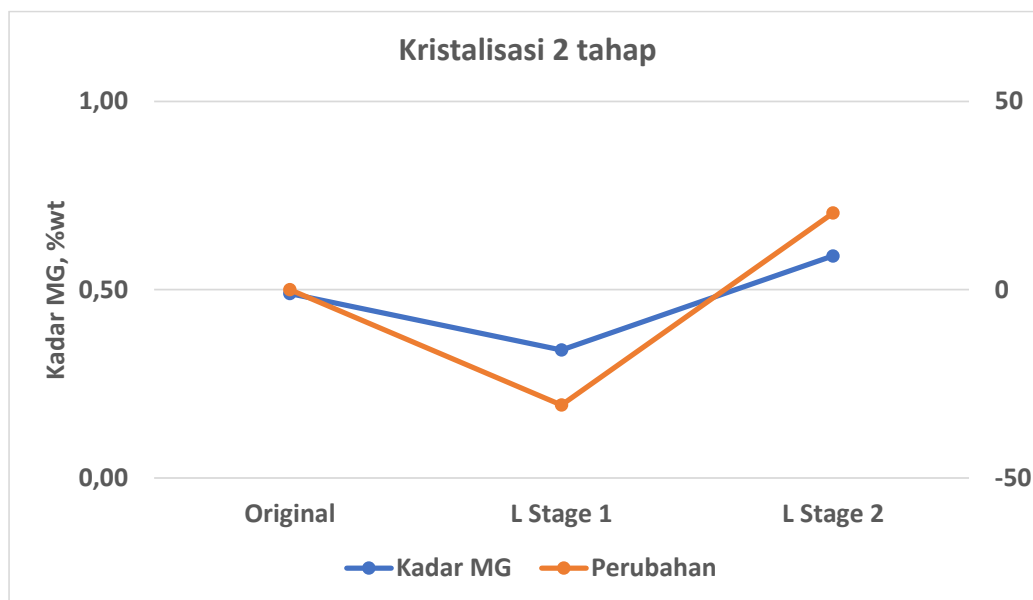
Hubungan antara persentase fasa padat dengan perubahan kadar MG pada fase liquid ditampilkan pada Gambar 54. Seperti terlihat pada gambar, terdapat trend dengan pola parabolik, dengan nilai perubahan kadar MG terbesar diperoleh pada saat fasa kristalisasi berkisar 30-35%. Pada rentang kristalisasi tersebut, perubahan kadar MG pada fasa liquid mencapai -36%. Pada nilai derajat kristalisasi semakin tinggi, sekitar 70%, kadar MG pada fasa liquid kembali mendekati kadar MG pada sampel originalnya. Dan pada derajat kristalisasi 80%, kadar MG lebih justru tinggi dari kadar MG pada sampel original. Dengan demikian, terdapat suatu nilai optimal dari persentase bahan yang dikristalkan agar memperoleh penurunan kadar MG yang maksimal.



Gambar 54. Hubungan persentase fasa padat dengan perubahan kadar MG pada fase liquid.

Hal ini diperkuat dengan hasil eksperimen kristalisasi 2 tahap, yang hasilnya ditampilkan pada Gambar 55. Pada kristalisasi tahap pertama diperoleh penurunan kadar MG pada fraksi liquid mencapai -31%. Sedangkan pada kristalisasi tahap kedua, justru terjadi peningkatan kadar MG sebesar 20% dibandingkan kadar MG pada fasa original. Kristalisasi tahap pertama dan kedua

dilakukan pada suhu yang sama. Sama seperti pengaruh waktu pada suhu yang sama, saat kristalisasi tahap kedua yang terjadi adalah semakin banyak komponen jenuh (FAME) yang mengkristal sehingga secara keseluruhan jumlah fraksi cair tinggal sedikit. Sementara itu, kristalisasi MG sudah tidak dapat berlanjut secara signifikan, karena sebagian besar MG jenuh telah dikristalkan pada kristalisasi tahap pertama. Dengan kata lain, konsentrasi MG yang tersisa pada fraksi cair menjadi lebih tinggi, tetapi komposisinya lebih didominasi oleh MG tak jenuh.



Gambar 55. Kadar MG pada fase liquid serta peresentase perubahannya dibanding kadar MG pada sampel awal, hasil eksperimen kristalisasi 1 dan 2 tahap.

Perbedaan perilaku kelarutan MG jenuh dan tak jenuh ini dibuktikan dengan hasil pengujian gas kromatografi. Pengujian kromatografi memungkinkan untuk mengidentifikasi komponen-komponen monogliserida secara individual. Dua komponen utama MG adalah monopalmitin dan monoolein. Mono palmitin adalah MG yang jenuh, dengankan monoolein adalah MG tak jenuh. Terdapat perbedaan yang signifikan pada rasio monopalmitin : monoolein pada sampel fraksi liquid dan fraksi solid, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 9. Pada sampel original, rasio antara monopalmitin dengan monoolein adalah 1,17. Setelah dilakukan pemisahan dengan kristalisasi, rasio tersebut mengalami pergeseran menjadi masing-masing 1,10 dan 1,49 pada fraksi cair dan fraksi padat. Dengan kata lain, monopalmitin yang merupakan monogliserida jenuh cenderung lebih banyak

terdapat pada fasa padat. Hal ini sesuai dengan sifat dasarnya sebagai komponen jenuh yang memiliki titik leleh lebih tinggi, akan lebih mudah terpresipitasi dari larutan.

Tabel 9. Rasio komponen monogliserida jenuh dan tak jenuh, monopalmitin :
monoolein

Sampel	Rasio Monopalmitin: Monoolein
Sampel Original	1,17
Fraksi Cair	1,10
Fraksi padat	1,49

Pada Tabel 10 ditampilkan hasil pengujian parameter spesifikasi biodiesel untuk sampel fraksi cair produk kristalisasi. Dibandingkan dengan hasil uji sampel original yang ditampilkan pada Tabel 8, terdapat tiga parameter yang mengalami perubahan terkait dengan pergeseran komposisi akibat proses kristalisasi, yaitu iodine value, kadar monogliserida, dan cloud point. Iodine value mengalami kenaikan dari 49,25 g-I₂/100g menjadi 55,05 g-I₂/100g, menandakan bahwa setelah kristalisasi terdapat lebih banyak komponen tak jenuh pada fraksi cair. Pour point sampel juga mengalami penurunan dari 12 °C menjadi 9 °C. Hal ini juga terkait dengan perubahan pergeseran komposisi, dimana komponen tak jenuh meningkat pada fasa cair setelah kristalisasi. Komponen tak jenuh ini memiliki struktur molekul yang tidak linier, memiliki hambatan sterik untuk membentuk kristal. Perubahan ini bersifat positif terhadap keseluruhan sifat biodiesel. Parameter lain yang berubah tentunya adalah kadar monogliserida, yang mana mengalami penurunan dari semula 0,49 %w menjadi 0,34 %w pada fasa cair setelah kristalisasi.

Tabel 10. Karakteristik Biodiesel Produk dari dari Proses Kristalisasi

Penetapan	Metode/Teknik	Nilai	Spesifikasi	Satuan

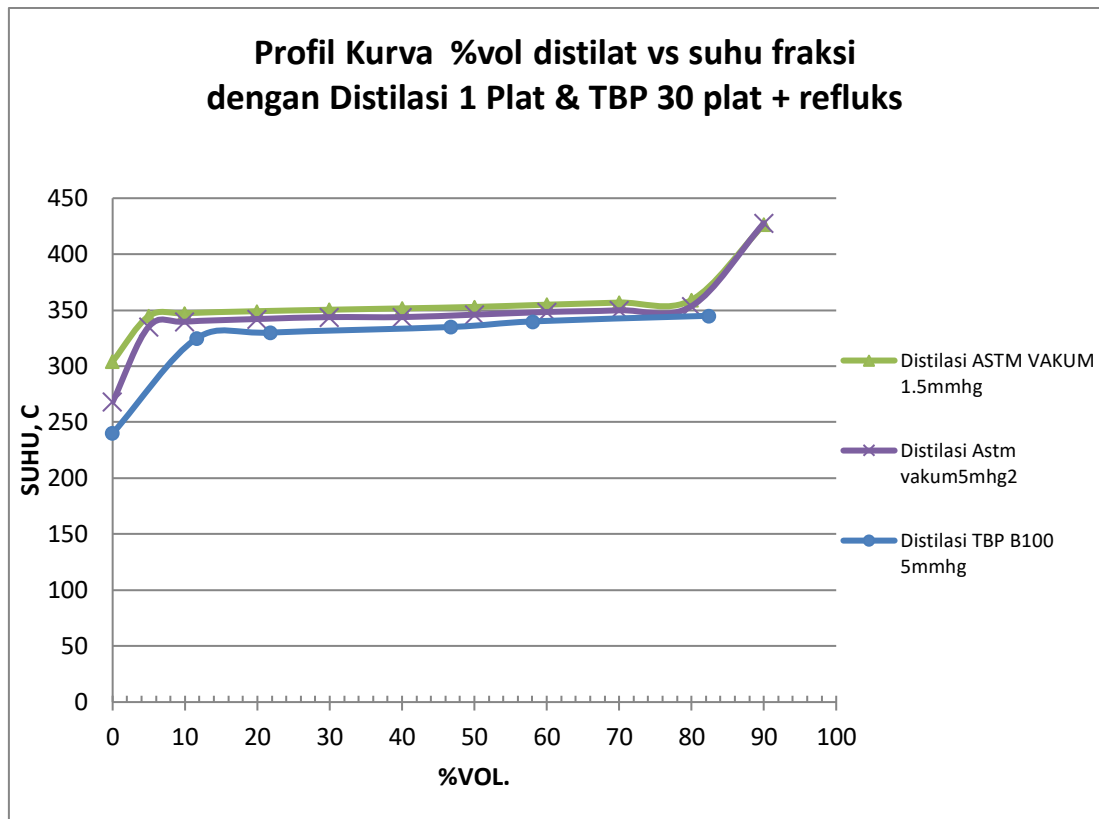
Density	ASTM D 4052	0,8590	0,85 – 0,89	g/cm ³
Gliserol total	SNI 7182 : 18	0,27	0,24	% wt
Gliserol bebas	SNI 7182 : 18	0,01	0,02	% wt
Kadar metil ester	Calculated	97,21	96,5	% wt
Angka iodium	SNI 7182 : 18	56,1	115	g-I ₂ /100g
Pour Point	ASTM D 97	9	CFPP (15)	°C
PMCC	ASTM D 93	178	Min 130	°C
Viscositas	ASTM D 445	5,094	2,3 – 6,0	Cst
MG	SNI 7182 : 18	0,34	0,55	%w

Secara umum, dapat dirangkum bahwa proses kristalisasi dapat menurunkan kadar monogliserida. Hal hal yang berpengaruh pada proses kristalisasi antara lain suhu dan durasi perendaman. Suhu kristalisasi berkisar 5-10 °C di bawah cloud point untuk memberikan kondisi supersaturasi. Kadar MG juga berkorelasi dengan derajat kristalisasi atau banyaknya komponen biodiesel yang terpisahkan sebagai padatan. Penurunan kadar MG paling signifikan ditunjukkan pada saat perolehan fraksi biodiesel padat sebesar 30-35%, atau yield fraksi cair 65-70%.

Pada percobaan kristalisasi dengan kondisi suhu 8 °C, waktu perendaman 30 menit, diperoleh yield biodiesel cair sebesar 56,1% dan berhasil menurunkan kadar monogliserida dari semula 0,49 %w menjadi 0,34 %w. Selain kadar MG mengalami penurunan, rasio komponen MG jenuh: MG tak jenuh (Monopalmitin : Monoolein) mengalami penurunan dari 1,17 menjadi 1,10.

2.3.3 Hasil Distilasi

2.3.3.1 Pengaruh Penggunaan alat Distilasi 1 plat dan Distilasi 30 Plat dan Refluks 1;2 pada fraksi distilat biodiesel



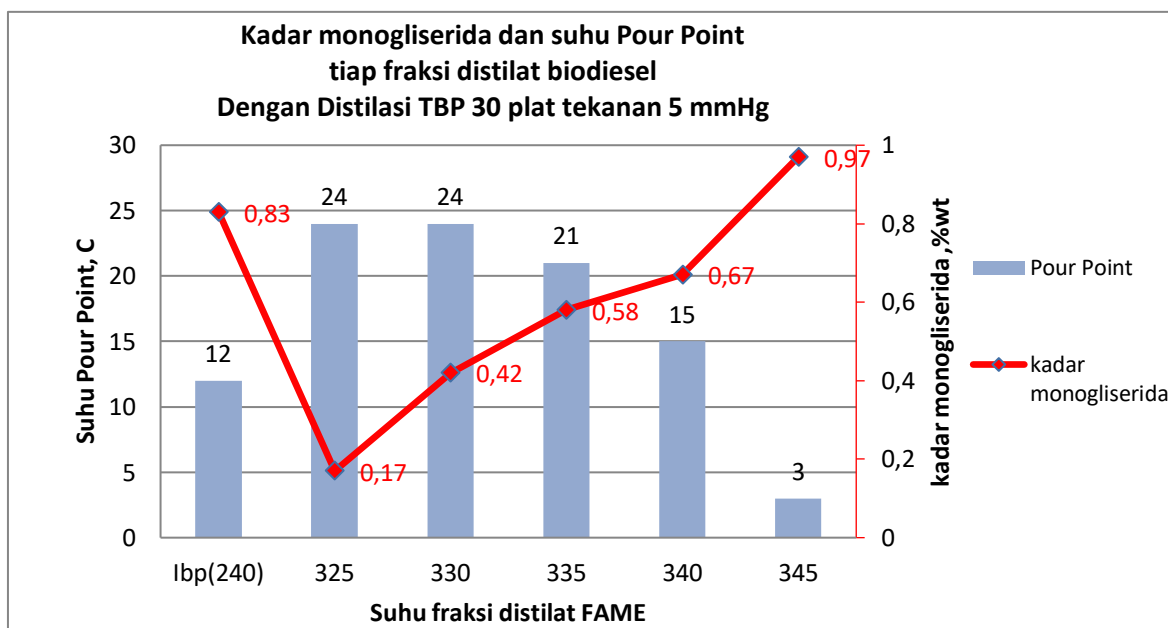
Gambar 56. Profil kurva suhu dan %vol. distilat biodiesel menggunakan alat distilasi 1 plat dan Distilasi TBP 30 plat refluks 1:2

Dari Gambar 56 diatas terlihat bahwa suhu fraksi distilat biodiesel saat didistilasi menggunakan alat distilasi 1 plat relatif lebih tinggi dibandingkan suhu fraksi distilat menggunakan distilasi TBP 30 plat yang dilengkapi refluks. Hal ini disebabkan karena alat distilasi TBP 30 plat yang dilengkapi refluks memiliki tingkat pemotongan suhu lebih presisi sehingga menghasilkan kemurnian lebih tinggi dibandingkan alat distilasi 1 plat. Pada distilasi TBP, produk yang teruapkan harus melewati plat kolom berjumlah 30 buah sehingga yang mencapai alat refluks dan kondensor merupakan fraksi ringan dengan titik didih lebih rendah dibandingkan fraksi lainnya. Senyawa dengan titik didih lebih tinggi akan dikembalikan ke kolom menggunakan alat refluks yang diatur sesuai fraksi distilat.

Dari Gambar 56 diatas terlihat juga bahwa pada penerapan kondisi operasi tekanan vakum berbeda pada alat distilasi 1 plat yang sama menunjukkan tingkat suhu fraksi yang berbeda ditiap %vol. distilat yang diperoleh. Pada kondisi operasi tekanan vakum 1.5 mmHg menunjukkan suhu fraksi distilat lebih tinggi dibandingkan suhu fraksi tekanan vakum 5 mmHg. Hal ini disebabkan semakin rendah tekanan vakum yang

digunakan, semakin mudah fraksi biodiesel yang memiliki titik didih relatif tinggi teruapkan. Karena semakin rendah tekanan sistem akan berdampak pada penurunan titik didih senyawa biodiesel yang didistilasi. Oleh sebab itu pada tekanan vakum 1.5 mmHg cenderung memiliki suhu fraksi distilat lebih tinggi di setiap %vol. distilat yang diperoleh.

2.3.3.2 Pengaruh perolehan tiap fraksi distilat biodiesel dengan kadar monogliserida dan suhu pour point pada distilasi TBP 30 plat tekanan 5 mmHg



Gambar 57. Kadar monogliserida dan suhu Pour Point tiap fraksi distilat biodiesel Dengan Distilasi TBP 30 plat tekanan 5 mmHg

Gambar 57 menunjukkan bahwa tiap fraksi distilat FAME yang diperoleh memiliki tingkat kadar monogliserida dan suhu pour point yang berbeda. Garis merah dan grafik batang biru menunjukkan profil kurva variasi kadar monogliserida dan pour point pada setiap fraksi distilat FAME. Kadar awal biodiesel pada pengujian ini adalah sebesar 0.83%wt. Setelah dilakukan distilasi TBP kolom 30 plat dan refluks 1:2 pada biodiesel Lemigas, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 11. kadar monogliserida dan suhu pour point pada setiap fraksi distilat FAME

Suhu	Fraksi °C	%Wt. Distilat	Kadar monogliserida, % WT	Pour Point, °C
25	IBP(240)	0	0.83	12
240	325	11.66	0.17	24
325	330	10.15	0.42	24
330	335	24.99	0.58	21
335	340	11.31	0.67	15
340	345	24.32	0.97	3

Dari tabel dan gambar diatas terlihat bahwa pada gambar garis merah menunjukkan kadar monogliserida yang menurun sangat signifikan pada fraksi distilat suhu 240-325 °C, dari kadar awal 0.83%wt. menjadi 0.17% wt. Dan Seiring dengan kenaikan suhu fraksi distilat, kadar monogliserida tetap menunjukkan trend menurun dari kondisi awal, hingga akhirnya meningkat kadarnya menjadi 0,97% wt pada suhu fraksi distilat 340-345 °C. Hal ini kemungkinan disebabkan pada setiap kenaikan suhu fraksi distilat FAME senyawa monogliserida yang memiliki titik didih relatif tinggi cenderung lebih banyak teruapkan dan terikut sebagai fraksi distilat.

Dari grafik batang biru yang menunjukkan tingkat suhu pour point pada setiap fraksi distilat FAME, terlihat bahwa suhu meningkat 2 kali lipat dari suhu pour point biodiesel semula. Suhu pour point meningkat, mulai fraksi dari 240-325 °C, 325-330 °C dan 330-335 °C, dari 12 °C menjadi 21 °C dan 24 °C. Hal ini disebabkan pada rentang suhu tersebut dominan produk distilat FAME yang diperoleh merupakan senyawa palmitic acid metil ester yang merupakan senyawa jenuh C16:0, yang memiliki suhu pour point antara 30-33 C. Dan seperti diketahui biodiesel dari minyak sawit, memiliki komposisi metil ester dominan senyawa palmitic acid. Sekitar 41-43 % komposisi biodiesel minyak sawit merupakan senyawa ini yang memiliki titik didih sekitar 330 °C. Pengaruh keberadaan senyawa metil ester palmitat masih terlihat pada fraksi distilat 335-340 °C, yang memiliki suhu pour point 15 °C. Meskipun memiliki kadar monogliserida rendah, produk pada fraksi ini, rentan terhadap suhu rendah. Artinya produk ini mudah membeku pada suhu lingkungan sekitar yang lebih dingin dari nilai

pour pointnya. Pada fraksi distilat 340-345 °C, suhu pour point cenderung turun drastis menjadi 3 °C. Hal ini disebabkan pada rentang suhu tersebut komposisi distilat didominasi senyawa oleic acid metil ester yang merupakan senyawa monounsaturated C18:1, yang memiliki suhu pour point rendah antara minus 10 °C – minus 20 °C. Dan komposisi senyawa ini relatif tinggi pada biodiesel minyak sawit, yakni sekitar 39%. Titik didih senyawa oleic acid metil ester berada pada rentang suhu 349 °C. Secara umum rentang titik didih metil ester pada biodiesel minyak sawit seperti pada tabel berikut:

Tabel 12. Komposisi dan suhu titik didih senyawa metil ester pada biodiesel

Jenis Metil Ester	Komposisi, %	Titik Didih, C	Pour point, °C
C8:0 Capric acid	0.1	193	-30
C10:0 Caprilic	0.1	224	-13
C12:0 Lauric	0.9	262	5
C14:0 Myristic	1.3	295	18
C16:0 Palmitic	43.9	338	31
C18:0 Stearic	4.9	352	38
C18:1 Oleic	39	349	-20
C18:2 Linoleic	9.5	366	-35

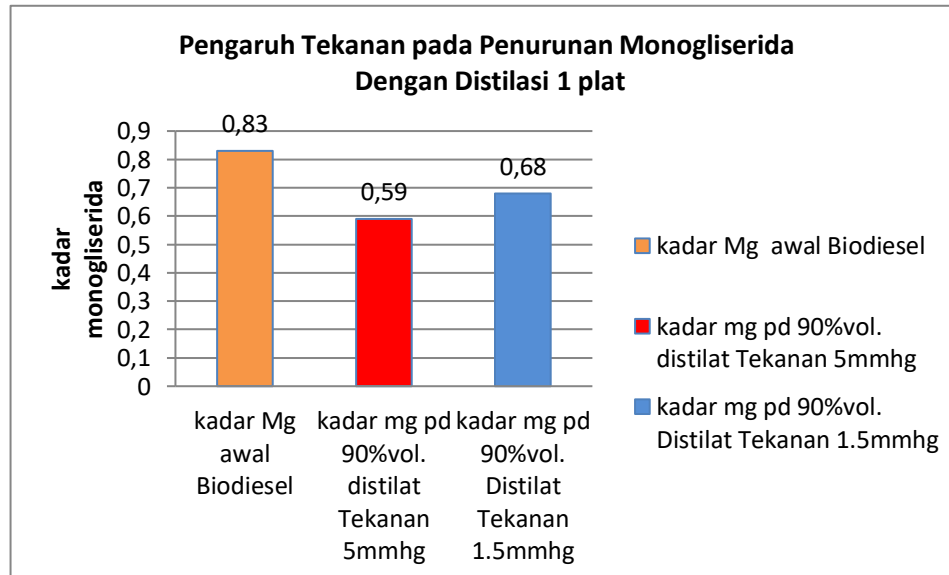
Kalau dilihat dari sisi mutu produk, fraksi distilat suhu 340-345 °C, sebenarnya merupakan target yang paling pas bila dikaitkan perannya sebagai bahan bakar mesin diesel. Pada fraksi ini kaya akan senyawa oleic acid metil ester C18:1, yang merupakan senyawa dalam biodiesel minyak sawit yang tahan suhu rendah dan relative baik stabilitas oksidasi nya. Beberapa perusahaan di Negara lain, membuat produk sejenis ini sebagai komoditas ekspor biodiesel yang dapat dipakai B100 ke Negara-negara 4 musim. Senyawa murni produk ini, memiliki suhu pour point sekitar -10 °C. Artinya tetap cair , meskipun pada musim dingin di negara-negara eropa. Fraksi senyawa ini bisa didistilasi ulang untuk mendapatkan produk yang lebih murni dari senyawa oleic acid metil ester.

Selain itu, senyawa yang memiliki pour point rendah memiliki kelebihan, yakni mampu bertahan tetap cair tidak membentuk deposit padatan pada tekanan tinggi saat diinjeksi di injector mesin disel. Seperti diketahui mesin diesel modern saat ini memiliki

tekanan injeksi sangat tinggi yakni 100-200 MPa. Tekanan tinggi pada injector dimaksudkan agar bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar berbentuk kabut seukuran butiran atom. Hal ini dimaksudkan agar pembakaran dalam mesin diesel lebih sempurna. Dan hanya senyawa dengan pour point rendah yang mampu beradaptasi tetap cair pada kondisi tekanan tinggi ini.

Produk distilat FAME yang memiliki kadar monogliserida relatif tinggi dapat juga diblending atau dicampur dengan produk distilat kadar mg rendah. Sejauh itu masih dalam batas kadar minimal monogliserida. Produk distilat FAME merupakan komoditas yang tinggi nilai ekonominya. Produk ini umumnya direkayasa menjadi bahan baku pembuatan fatty alcohol, yang merupakan bahan baku pembuatan produk kosmetik, oleokimia, farmasi dan juga surfaktan, melalui proses hidrogenasi menggunakan katalis seperti Ru-Sn /Al₂O₃,

2.3.3.3 Pengaruh Tekanan terhadap penurunan kadar monogliserida

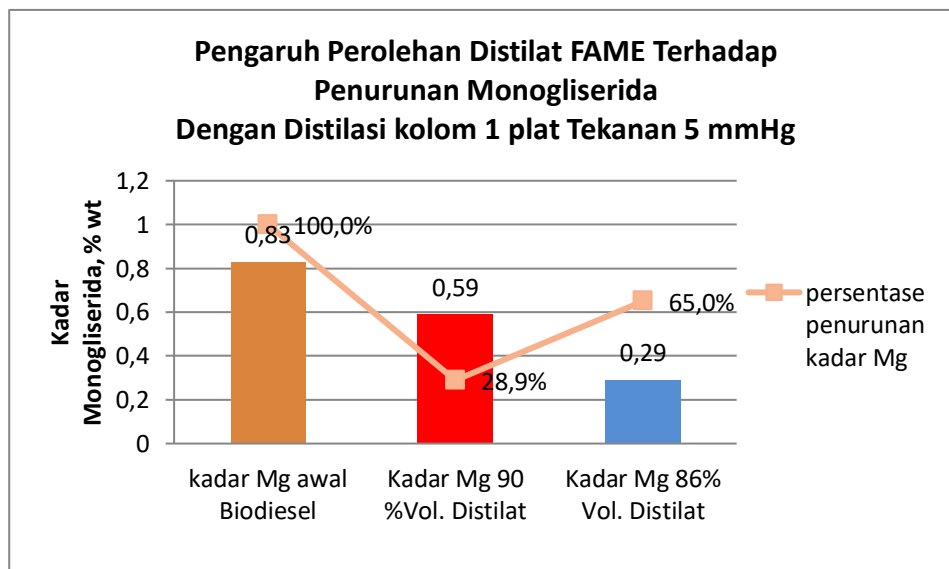


Gambar 58. Pengaruh Tekanan pada Penurunan Monogliserida Dengan Distilasi 1 plat

Gambar 58 di atas menunjukkan pengaruh kondisi operasi tekanan vakum distilasi 1 plat, terhadap kadar monogliserida pada tingkat 90%vol. distilat biodiesel yang

dihasilkan. Dari gambar diatas terlihat bahwa, kadar monogliserida awal 0,83% dapat diturunkan kadarnya menjadi 0.59% pada tingkat perolehan 90 %vol pada kondisi operasi tekanan vakum 5 mmHg. Sementara pada tekanan vakum 1.5 mmHg, pada tingkat perolehan distilat yang sama, kadar monogliserida adalah 0.68%. Hal ini dapat dijelaskan pada kondisi tekanan vakum, semakin rendah tekanan semakin mudah fraksi distilat dengan titik didih tinggi teruapkan dan menjadi distilat. Demikian halnya dengan monogliserida dan produk biodiesel lainnya yang memiliki titik didih relatif tinggi akan lebih mudah teruapkan pada kondisi tekanan vakum 1.5 mmHg dibandingkan 5 mmHg. Dan ini yang menyebabkan kadar monogliserida pada perolehan yang sama cenderung memiliki kadar lebih tinggi dibandingkan distilat pada tekanan 5 mmHg.

2.3.3.4 Pengaruh Persentase Distilat Terhadap Kadar Monogliserida



Gambar 59. Pengaruh Perolehan Distilat FAME Terhadap Penurunan Monogliserida Dengan Distilasi kolom 1 plat Tekanan 5 mmHg

Gambar 59 diatas adalah gambar yang menunjukkan pengaruh perolehan persentase distilat terhadap kadar monogliserida pada %vol. distilat tersebut. Dari hasil percobaan

menggunakan alat distilasi diatas di Laboratorium Distilasi, terlihat bahwa kadar monogliserida biodiesel dengan kandungan awal 0.83 % wt, dapat direduksi kadarnya menjadi 0.59% pada tingkat perolehan 90 %vol distilat. Kadar monogliserida semakin turun pada level 86%vol distilat sehingga nilainya menjadi 0.29%wt. atau terjadi penurunan 65% dari kadar awal dengan kadar 0.83% wt. Persentase 86 %vol distilat biodiesel diperoleh pada pemotongan suhu 360 °C. Pemotongan suhu 360 °C untuk mendapatkan volume distilat FAME sebesar 86%, merupakan nilai optimum yang bisa diperoleh baik dari sisi perolehan distilat ataupun kadar monogliseridanya. Seandainya pemotongan suhu dilanjutkan dibawah suhu 360 °C, kemungkinan, kadar monogliseridanya juga akan menurun, namun konsekuensinya persentase distilat FAME yang diperoleh juga akan lebih sedikit. Hal ini, tentu tidak diharapkan karena akan mengurangi persentasi volume produk Distilat FAME dari biodiesel tersebut.

2.3.4 Hasil Keseluruhan

Dengan formulasi reaksi yang terdiri dari kadar metanol/minyak sebesar 40%, katalis yang dipakai adalah NaOH 1% dan bukan katalis Industri. Waktu reaksi 2 jam dan temperatur reaksi di 62-65^oC dan proses washing dilakukan sebanyak 3 kali. Jumlah bahan baku RBDPO yang direaksikan di skala pilot plant ini sebanyak 400L, diperoleh produk biodiesel dari proses di pilot plant ini memiliki kadar MG sebesar 0,49%. Hal ini dapat dipahami karena proses di skala pilot plant yang lebih mendekati skala industri tentunya berbeda dari sisi peralatan dan proses yang terjadi, seperti di reaktor skala pilot ini disamping dilengkapi dengan stirer dan kondensor seperti halnya di skala laboratorium namun masih terdapat tambahan jalur sirkulasi di reaktor sehingga proses reaksi akan lebih sempurna terjadi di reaktor skala pilot plant ini. Optimalisasi proses yang telah dilakukan pada reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel menggunakan bahan baku RBDPO dan Metanol serta NaOH sebagai katalis, secara umum dapat dikatakan berhasil, hal ini terlihat dari nilai kandungan metil ester dalam biodiesel yang dihasilkan telah mencapai nilai sebesar 97,34%-wt sedangkan batasan spesifikasinya sebesar 96,5%-wt. Namun, optimalisasi proses ini masih perlu dilanjutkan dengan mengotimalisasi penggunaan katalis dan methanol, sehingga

diharapkan kandungan metil ester dalam produk biodiesel dapat lebih tinggi dari yang dihasilkan saat ini. Dengan semakin sempurnya reaksi transesterifikasi, akan semakin tinggi kandungan metil ester dalam produk biodiesel yang dihasilkan, dan diharapkan dapat menurunkan kandungan Monogliseridanya. Hal lain yang juga tidak kalah pentingnya adalah tahapan pemurnian produk, yaitu settling, pencucian dan drying. Tahapan ini juga sangat mempengaruhi kualitas dari produk biodiesel yang dihasilkan. Untuk menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan dalam SNI Biodiesel, maka tahapan pemurnian produk ini harus dilakukan dengan cermat sesuai dengan SOP-nya.

Dengan teknik kristalisasi, kadar monogliserida dapat diturunkan. Dengan kristalisasi, monogliserida dipisahkan berdasarkan titik beku dan kelarutannya. Dua kondisi yang paling berpengaruh pada penurunan kadar monogliserida adalah suhu dan persentase kristalisasi. Semakin rendah suhu kristalisasi, semakin rendah pula kadar monogliserida yang tersisa pada fase cair karena kelarutannya semakin kecil. Akan tetapi, pada suhu rendah perolehan fraksi cairnya juga akan semakin rendah karena semakin banyak kristal yang terbentuk. Nilai optimum untuk menghasilkan kadar monogliserida terendah adalah saat fraksi kristal padat diperoleh pada kisaran 30-35 %, atau saat fraksi cair diperoleh sebesar 65-70 %. Jika kristalisasi dilanjutkan sehingga dihasilkan kristal lebih banyak maka kadar MG pada fraksi cair akan meningkat kembali. Pada percobaan kristalisasi dengan kondisi suhu 8 °C, waktu perendaman 30 menit, diperoleh yield biodiesel cair sebesar 56,1% dan berhasil menurunkan kadar monogliserida dari semula 0,49 %w menjadi 0,34 %w.

Selain penurunan kadar MG, pada percobaan ini juga ditemukan bahwa terjadi perubahan komposisi MG dalam fasa cair dan fasa padat setelah perlakuan kristalisasi. Hasil GC menunjukkan bahwa rasio komponen MG jenuh: MG tak jenuh (Monopalmitin : Monoolein) mengalami penurunan dari 1,17 menjadi 1,10. Hal ini menunjukkan bahwa MG jenuh lebih mudah dikristalisasi dibandingkan MG tak jenuh. Dengan telah dipisahkannya Sebagian besar MG jenuh, maka resiko pembentukan deposit menjadi lebih kecil.

Proses distilasi dapat menurunkan kadar MG dalam FAME. Dalam rangkaian percobaan yang dilakukan, kondisi optimum yang diperoleh adalah distilasi dengan menggunakan kolom 1, plat tekanan 5 mmHg, yield 86%vol pada temperatur cutting

360 °C. Pada kondisi ini, kadar monogliserida dapat diturunkan dari 0,83 %wt menjadi 0,29%wt, setara dengan penurunan sebesar 69%.

Secara umum disimpulkan penambahan bahwa proses sekunder pada pembuatan biodiesel akan membutuhkan peralatan tambahan dan juga terdapat potensi penurunan yield atau produktivitas. Oleh karena itu, sebaiknya penurunan nilai spesifikasi MG pada biodiesel dibatasi pada level yang dapat dicapai oleh pabrik dengan optimalisasi proses tanpa penambahan peralatan produksi.

D. CAPAIAN KELUARAN

a. Makalah ilmiah sebanyak 2 judul (dalam tahap penyusunan)

1. Influence of Crystallization Process on Monoglycerides Content in Biodiesel
2. Refining palm biodiesel to produce low monoglyceride distilled fame by vacuum distillation

b. Rekomendasi kondisi operasi optimum untuk memproduksi Biodiesel dengan kadar Monogliserida rendah.

Proses transesterifikasi di skala pilot plant

Jenis reactor: batch

Temperatur reaksi: 62 – 65 °C

Waktu reaksi: 2 jam

Penggunaan methanol: sebesar 40% dari volume minyak nabati.

Proses reaksi dibantu dengan pengadukan dan juga sirkulasi di reaktor.

Kondisi Operasi Kristalisasi skala Laboratorium

Suhu kristalisasi: 8 °C, atau 10 °C dibawah cloud point.

Waktu perendaman: 30 menit

Persentase kristalisasi : 30-35%

Yield fasa Cair: 65-70%

Pemisahan Padat-Cair: Sentrifuge 300 rpm.

Kondisi Operasi Distilasi skala Laboratorium

Distilasi dengan kolom 1 plate

Tekanan vakum 5 mmHg

Temperatur cutting 360 °C

Yield distilat ~ 86%

c. Foto-foto kegiatan dicantumkan dalam LAMPIRAN 2.

PENUTUP

Kesimpulan

Proses transesterifikasi di skala pilot plant yang dilakukan secara batch dengan menggunakan 1 reaktor yang dibantu dengan pengadukan dan sirkulasi dapat optimal dilakukan. Proses reaksi berlangsung selama 2 jam pada temperature 62 – 65 °C dan formula reaksi dengan penggunaan metanol sebesar 40% dari volume minyak nabati serta katalis NaOH 1% wt. Produk biodiesel yang dihasilkan mempunyai kadar metil ester 97.34% wt dengan kandungan MG sebesar 0,49% wt.

Dari eksperimen Kristalisasi, kondisi optimum untuk menghasilkan kadar monogliserida terendah adalah saat fraksi kristal padat diperoleh pada kisaran 30-35 %, atau saat fraksi cair diperoleh sebesar 65-70 %. Pada percobaan kristalisasi dengan kondisi suhu 8 °C, waktu perendaman 30 menit, diperoleh yield biodiesel cair sebesar 56,1% dan berhasil menurunkan kadar monogliserida dari semula 0,49 %w menjadi 0,34 %w, setara dengan penurunan sebesar 35%.

Dalam rangkaian percobaan distilasi yang dilakukan, kondisi optimum yang diperoleh adalah distilasi dengan menggunakan kolom 1, plat tekanan 5 mmHg, yield 86%vol pada temperatur cutting 360 °C. Pada kondisi ini, kadar monogliserida dapat diturunkan dari 0,83 %wt menjadi 0,29%wt, setara dengan penurunan sebesar 69%.

Saran

Proses reaksi transesterifikasi akan lebih optimal apabila dilakukan secara berseri seperti yang ada di pabrik biodiesel komersial. Artinya dengan

menggunakan beberapa reaktor biasanya 3 sampai 4 reaktor yang disusun secara seri maka proses reaksi transesterifikasi akan berlangsung secara kontinu dari satu reaktor ke reaktor lain sehingga proses konversi minyak nabati menjadi produk utama akan berlangsung secara bertahap hingga di reaktor terakhir didapat konversi yang maksimum.

Secara teknis, proses sekunder kristalisasi dan distilasi dapat dilakukan untuk menurunkan kadar monogliserida hingga level 0,3 %wt. Penerapan proses tersebut akan membutuhkan perubahan konfigurasi dan instalasi fasilitas tambahan pada pabrik biodiesel. Di sisi lain, juga terdapat potensi penurunan yield atau produktivitas, karena Sebagian produk harus dipisahkan. Berdasarkan pengamatan hasil kunjungan ke plant eksisting, diperoleh informasi bahwa kadar MG dapat dikendalikan dengan memodifikasi kondisi operasi, terutama flow rate produksi. Hal ini akan berpengaruh pada produktivitas dan biaya produksi. Oleh karena itu, sebaiknya penurunan nilai spesifikasi MG pada biodiesel dibatasi pada level yang dapat dicapai oleh pabrikan dengan optimalisasi proses tanpa penambahan peralatan produksi.

DAFTAR PUSTAKA

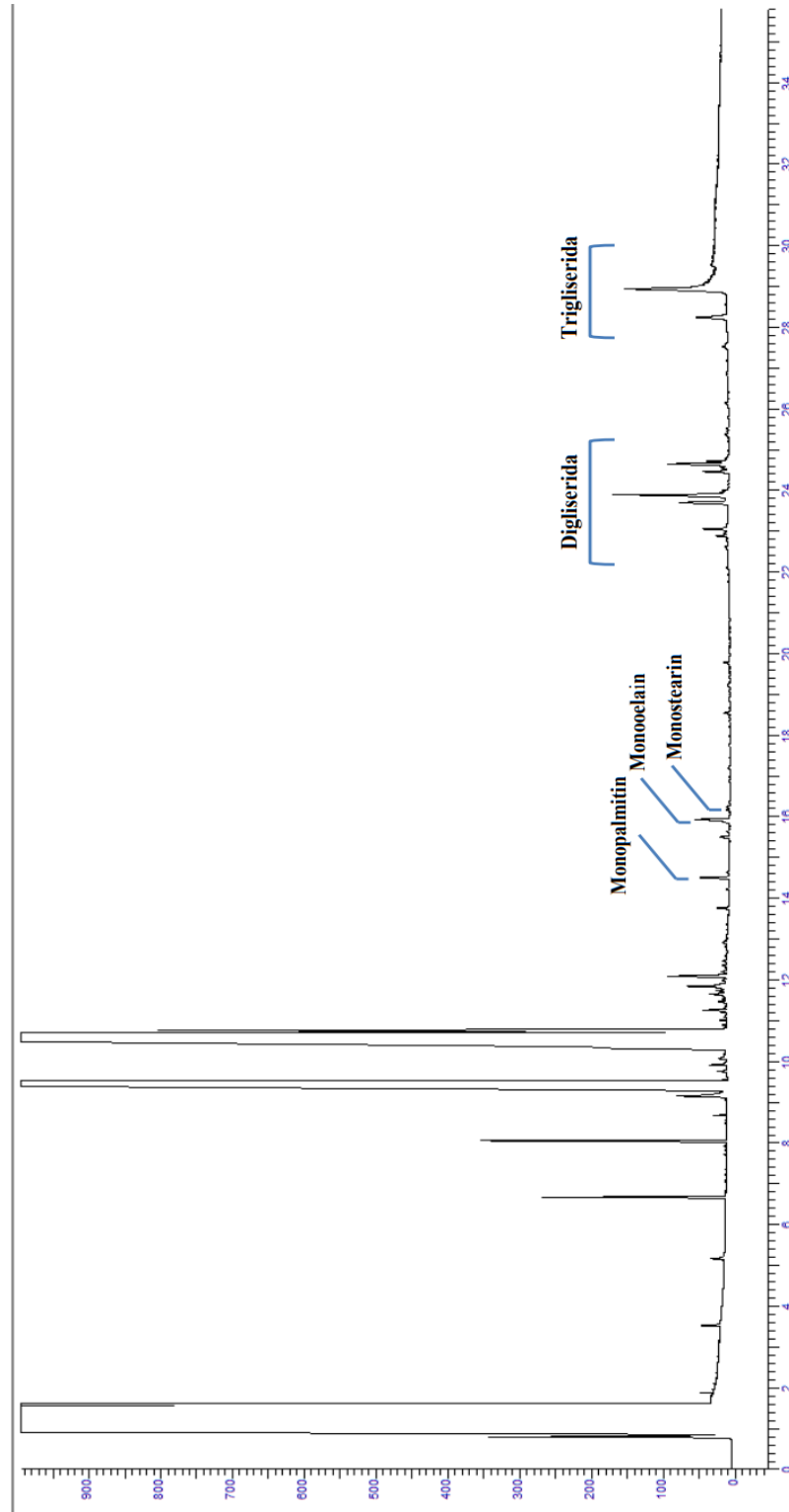
1. Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, A. I., Mahlia, T. M. I., & Mekhilef., 2012, "A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 16, Issue 4, May, Pages 2070–2093
2. Bartz, W.J., 2001, "*Fuels 2001*", 3 ed, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern
3. Dirjen Bina Produksi Perkebunan Departemen Pertanian, 2005, "*Kebijakan Dalam Penyediaan Bahan Baku Biodiesel*", Workshop Pemanfaatan Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel, Jakarta
4. Dirjen Perkebunan, 2005, "*Seminar Nasional Pengembangan Kelapa Sawit*", Samarinda
5. Dirjen Perkebunan Departemen Pertanian, 2006, "*Penyediaan Bahan Baku Biofuel*", Seminar Nasional Biofuel, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta
6. Kombe, G. G., Abraham, K. T., Hassan, M. R., Godwill, D., Mrema¹, Jibrail, K., & Lee, T. K., 2013, "Pre-Treatment of High Free Fatty Acids Oils by Chemical Re-Esterification for Biodiesel Production—A Review", *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2013, 3, 242-247. ACES
7. Lim, J., 2005, "*The Design of Portable Biodiesel Plant*", The University Of British Columbia.
8. Marchetti, J. M., Miguel, V. U., Errazu, A. F., 2008, "Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production", Fuel Processing Technology Volume 89, Issue 8, August, Pages 740–748
9. Mittelbach, M., and Remschmidt, C., 2004, "*Biodiesel The Comprehensive Handbook*", Martin Mittelbach, Austria
10. Sidjabat, O., 2013, "Peningkatan Sifat Alir dan Stabilitas Oksidasi Biodiesel dengan Proses Hidrogenasi Parsial (Bagian I): Penggunaan Ni-A₁₂O₃ Sebagai Katalis", *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi* Vol. 47 No. 2, Agustus 2013, 79 – 85.

11. PPPTMGB “LEMIGAS”, 1994, “*Penelitian Aplikasi Solar – Sawit Sampai dengan Uji Unjuk Kerja pada Motor Statis*”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”, Jakarta
12. Hamed Bateni., Alireza Saraeian., Chad Able 2., (2017), “A comprehensive review on biodiesel purification and upgrading,” *Biofuel Research Journal* 15, 668-690
13. L N Komariah., F Hadiah., F Aprianjaya., and F Nevriadi., (2018), “Biodiesel effects on fuel filter; assessment of clogging Characteristics,” The 6th International Conference of the Indonesian Chemical Society IOP Publishing, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1095
14. Deepak Verma., Janmit Raj, Amit Pal, Manish Jain.,(2016), “A critical review on production of biodiesel from various feedstocks,” *Journal of Scientific and Innovative Research* 5(2): 51-58
15. Parncheewa UDOMSAP., Ukrit SAHAPATSOMBAT., Buppa PUTTASAWAT.,
16. Pawnprapa KRASAE., Nuwong CHOLLACOOP and Subongkoj TOPAIBOUL., (2008), “Preliminary Investigation of Cold Flow Improvers for Palm-Derived Biodiesel Blends”, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, Vol. 18 No.2 pp.99-102.
17. Mohammad Shahidul Islam., Christian Bundy and M.A.A.S. Choudhury., “Monoglycerides reduction in rapeseed oil transesterification for production of high quality biodiesel,” *Int. J. Oil, Gas and Coal Technology*, Vol. 8, No. 1.

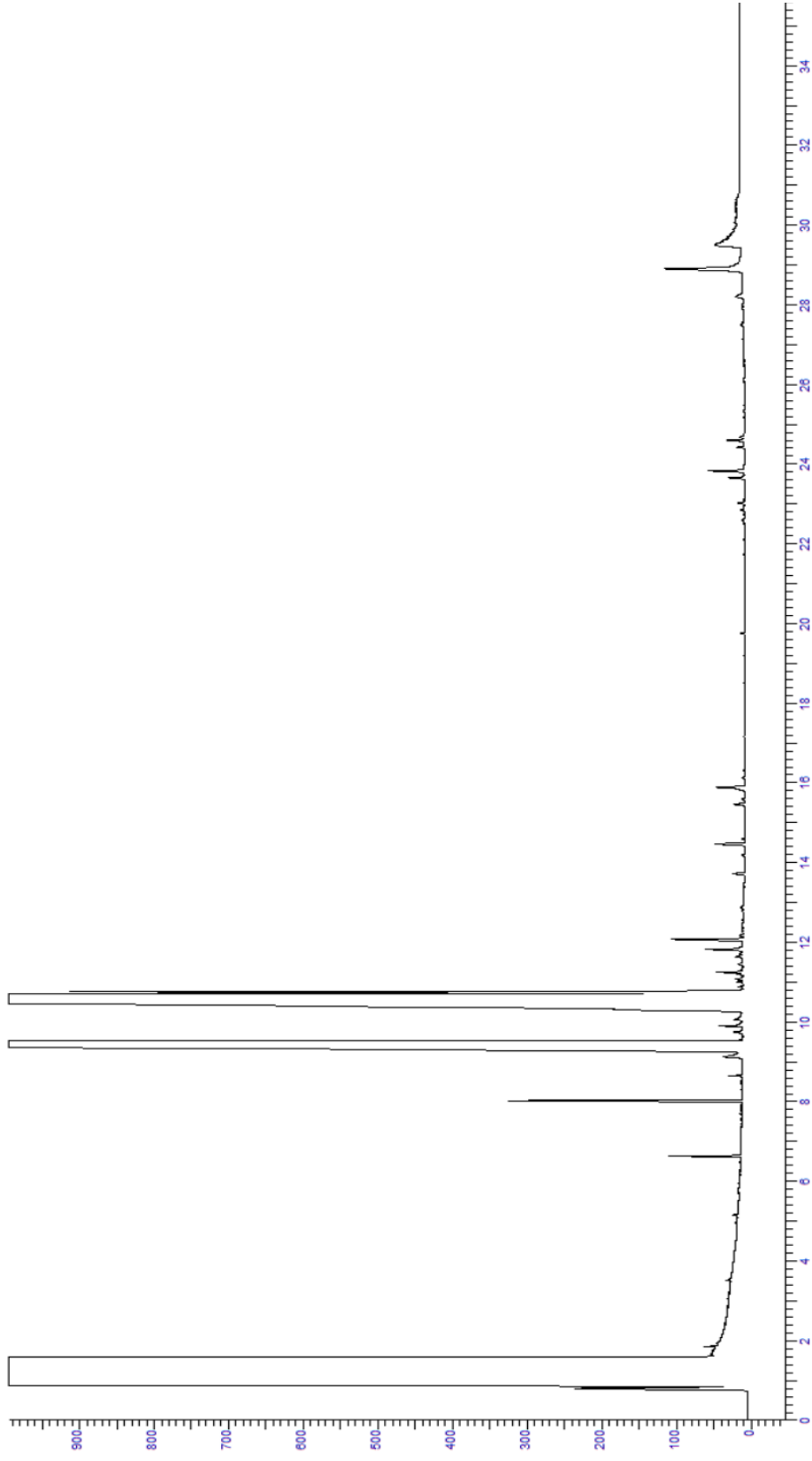
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Kromatogram FAME

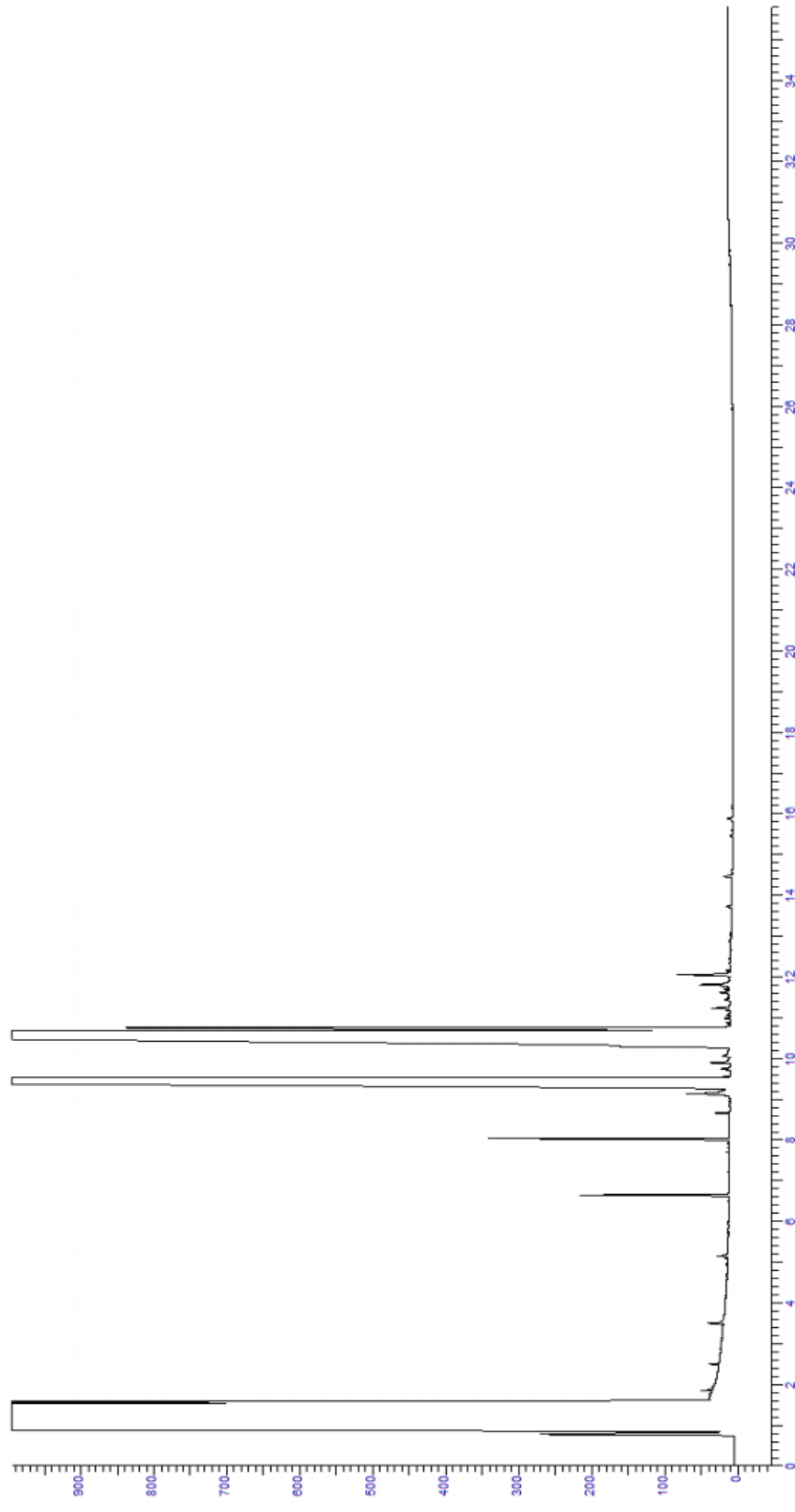
Kromatogram FAME Produk Pilot Plant



Kromatogram FAME Setelah Kristalisasi (Fasa Liquid)



Kromatogram FAME Produk Distilasi



LAMPIRAN 2. Foto-Foto Kegiatan

Kegiatan peningkatan kualitas FAME ini merupakan bagian dari kegiatan utama yang berjudul implementasi Implementasi Pemanfaatan Bahan Bakar B-40/50 Pada Kendaraan Bermesin Diesel. Kegiatan peningkatan kualitas FAME ini sendiri terdiri dari beberapa sub-kegiatan yang masing-masing dideskripsikan sebagai berikut.

Kegiatan Optimalisasi Proses Transesterifikasi

Kegiatan optimalisasi proses transesterifikasi tahap awal dilakukan pada skala laboratorium. Eksperimen laboratorium dilakukan di laboratorium Biodiesel, Proses dan Katalisa. Setelah kondisi operasi optimal diperoleh, percobaan ditingkatkan untuk skala pilot plant, yaitu dengan memanfaatkan fasilitas pilot plant biodiesel KP3T Proses, Lemigas. Gambar 60 menunjukkan aktivitas selama proses produksi biodiesel skala pilot plant.



Gambar 60. Aktivitas Proses produksi biodiesel di pilot plant Biodiesel KP3T Proses PPPTMGB LEMIGAS.

Kegiatan Kristalisasi

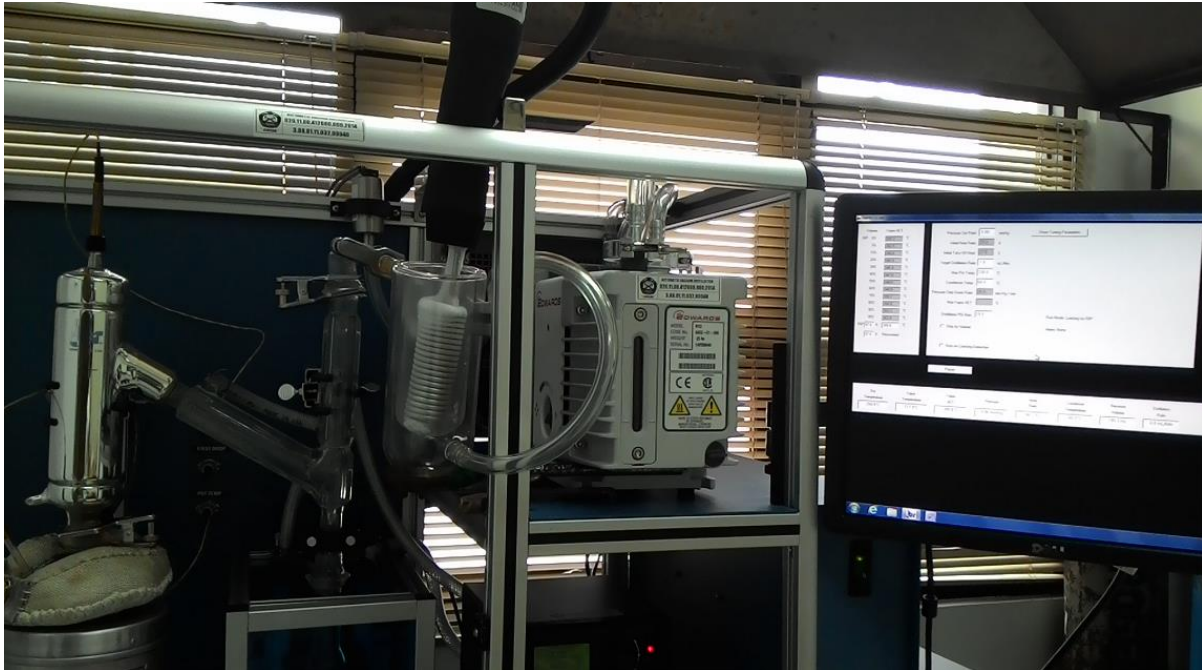
Kegiatan kristalisasi biodiesel sepenuhnya dilakukan pada skala laboratorium. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Kimia Umum, Kelompok Lingkungan, Kimia dan Bioteknologi KP3T Proses. Eksperimen dilakukan dengan memanfaatkan berbagai fasilitas lintas laboratorium di KP3T Proses. Gambar 61 menunjukkan peralatan yang digunakan selama proses pendinginan yaitu incubator dan waterbath.



Gambar 61. Peralatan yang digunakan untuk eksperimen kristalisasi

Kegiatan Distilasi

Kegiatan distilasi biodiesel sepenuhnya dilakukan pada skala laboratorium. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Pemisahan, Kelompok Separasi, Katalisa, dan Pemodelan. Dua peralatan utama yang digunakan adalah unit distilasi dengan kolom 1 plate dan unit distilasi dengan kolom 20 plate. Gambar 62 menunjukkan peralatan distilasi 1 plate.



Gambar 62. Set up alat ditilasi vakum 1 plate

Kegiatan Kunjungan dan Diskusi dengan Pabrik Biodiesel

Dalam rangka studi banding dengan proses yang proven di industri, dilakukan kunjungan ke pabrik biodiesel untuk meninjau dan juga berdiskusi mengenai proses produksi biodiesel serta metode pengujiannya. Pabrik biodiesel yang dikunjungi antara lain:

1. PT. Wilmar Nabati Indonesia, Jl. Kapten Darmo Sugondo No.56, Indro Legi, Indro, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
2. PT. Darmex Bekasi, Jl. Raya Bekasi No.Km.27, RT.005/RW.013, Kaliabang Tengah, Kec. Bekasi Utara, Kota Bks, Jawa Barat
3. PT. Dabi Biofuel, Lubuk Gaung, Sungai Sembilan, Dumai City, Riau
4. PT Industri Nabati Lestari, Jl. Iskandar Muda No.115, Petisah Hulu, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara

Gambar 63 menampilkan salah satu kegiatan kunjungan ke PT Wilmar Nabati Gresik.



Gambar 63. Kunjungan ke PT Wilmar Nabati Gresik.

Kegiatan Konsinyasi Penyusunan Laporan

Dalam rangka penyusunan laporan akhir kegiatan, dilakukan rapat konsinyasi bertempat di Wisma Lemigas Tugu pada tanggal 30 November – 2 Desember 2020. Kegiatan dihadiri oleh seluruh anggota tim kegiatan. Gambar 64 menampilkan salah satu situasi rapat di Wisma Tugu tersebut.



Gambar 64. Kegiatan Konsinyasi Penyusunan Laporan