

BIODIESEL

Proses, Karakteristik, dan Implementasi

Joelianingsih

Widayat

Kudrat Sunandar

Is Sulistyati Purwaningsih



BIODIESEL

Proses, Karakteristik, dan Implementasi

BIODIESEL

Proses, Karakteristik, dan Implementasi

Joelianingsih
Widayat
Kudrat Sunandar
Is Sulistyati Purwaningsih

 **GRAHA ILMU**

BIODIESEL; Proses, Karakteristik, dan Implementasi

oleh Joefianingsih, Widayar, Kudrat Sunandar, Is Sulistyati Purwaningsih

Hak Cipta © 2019 pada penulis.

Edisi Pertama; Cetakan Pertama = 2019



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889098; 0274-882262; Fax: 0274-889057;

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-623-228-243-8

Buku ini tersedia sumber elektroniknya

DATA BUKU:

Format: 17 x 24 cm; Jml. Hal.: viii + 116; Kertas Isi: HVS 70 gram; Tinta Isi: BW/Colour;
Kertas Cover: Ivori 260 gram; Tinta Cover: Colour; Finishing: Perfect Binding; Laminasi Doff.



PRAKATA

Melalui penelusuran, pengalaman penelitian dan kajian lapangan, atas ijin Tuhan YME buku "Biodiesel: Proses, Karakteristik, dan Implementasi" ini ditulis dan diselesaikan tepat waktu.

Buku ini berisi tentang biodiesel, memaparkan sebagian kecil dimulai dari bahan baku, proses pembuatan atau proses produksi baik secara katalitik : heterogen dan homogen, non katalitik, perkembangan standar biodiesel, karakteristik, dan implementasi sampai pada dampaknya terhadap energi, ekonomi dan lingkungan.

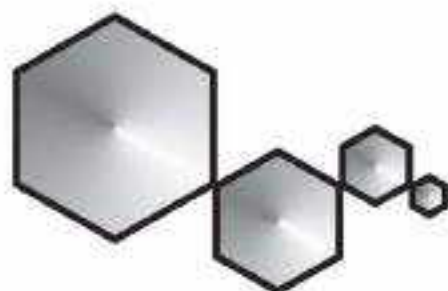
Biodiesel merupakan salah satu jenis bahan bakar nabati yang wajib digunakan di Indonesia melalui kebijakan mandatori yang telah diprogramkan pemerintah. Tujuan program mandatory biodiesel adalah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, mendukung program kemandirian energi, menciptakan stabilisasi harga Crude Palm Oil (CPO) yang merupakan bahan baku biodiesel, mendukung program hilirisasi sawit, untuk mencapai target pemakaian energi baru terbarukan 23% pada tahun 2025, mengurangi impor BBM, dan menghemat devisa.

Walaupun penulisan buku ini dilakukan secara komprehensif melalui penalaran dan analisis yang tajam, berdasarkan hasil penelitian yang mendalam, kami yakin masih dijumpai banyak kekurangan. Kami

berharap buku ini bermanfaat untuk para siswa sekolah, mahasiswa, dosen, peneliti, maupun pemerhati yang berkecimpung di bidang bahan bakar nabati, untuk dijadikan sebagai tambahan wawasan dan pustaka lanjut.

Tangerang Selatan, Agustus 2019

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

BAB 1	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Jenis dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati	4
1.3	Mandatori Pemanfaatan Bbn di Indonesia	7
BAB 2	PROSES PRODUKSI BIODIESEL	9
2.1	Esterifikasi	9
2.2	Transesterifikasi	11
2.3	Proses Produksi Biodiesel dengan Katalis Heterogen	15
2.4	Proses Produksi Biodiesel dengan Proses Perengkahan	18
BAB 3	STANDAR MUTU BIODIESEL	21
3.1	Standar Mutu Biodiesel di Indonesia	21
3.2	Perkembangan Standard Biodiesel di Indonesia	24
3.3	Perkembangan Standard Biodiesel di Luar Negeri	27
BAB 4	STUDI EMPIRIS KARAKTERISTIK BIODIESEL	47
4.1	Karakteristik Biodiesel	47

4.2	Komposisi Asam Lemak dari Minyak dan Lemak	60
4.3	Studi Empiris Parameter Biodiesel Hasil Riset	61
BAB 5	IMPLEMENTASI BIODIESEL	73
BAB 6	DAMPAK PEMANFAATAN BIODIESEL	87
6.1	Dampak Energi	89
6.2	Dampak Ekonomi	99
6.3	Dampak Lingkungan	102
DAFTAR PUSTAKA		105



PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemenuhan kebutuhan energi (*energy mix*) di Indonesia masih didominasi oleh energi fosil (95%) terutama minyak bumi (bahan bakar minyak/BBM). Produksi minyak bumi Indonesia sudah menurun dan belum diikuti dengan peningkatan hasil eksplorasi (pencarian sumber bahan bakar baru) yang signifikan. Kebutuhan minyak bumi/BBM yang menjadi sumber energi utama sudah tidak dapat dipenuhi dari produksi dalam negeri sehingga harus dipenuhi melalui impor. Sejak 2004 Indonesia menjadi *net importer oil* dan pada tahun 2012, Indonesia harus mengimpor 500 ribu barrel minyak per hari. Impor BBM membuat banyak devisa negara mengalir ke luar negeri untuk membeli BBM dan mengakibatkan terjadinya defisit neraca perdagangan. Ketergantungan pada BBM yang mayoritas impor juga akan berdampak pada ketahanan energi nasional.

Jenis sumber energi yang memungkinkan digunakan untuk mensubstitusi penggunaan BBM adalah Bahan Bakar Nabati (BBN). Pada tahun 2013 impor BBM menguras devisa Negara akibat penurunan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika. Berkaitan dengan hal itu, pemerintah mendorong peningkatan pemanfaatan BBN sebagai campuran BBM.

Kebijakan Pemerintah untuk mendorong pemanfaatan BBN di Indonesia dimulai dengan dikeluarkannya PP No. 5 Tahun 2006 tanggal 25 Januari 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang mengatur komposisi sumber energi dalam energi (primer) mix Indonesia. Bersamaan dengan PP tersebut, pada tanggal yang sama diterbitkan Inpres No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan BBN sebagai Bahan Bakar Lain. Kemudian pemerintah menerbitkan KepPres No. 10 Tahun 2006 yang mengatur pengentasan kemiskinan dan produksi BBN. Dengan terbitnya KepPres tersebut, timbul harapan bahwa produksi BBN dapat menjadi salah satu jalan dalam mengentaskan kemiskinan yang dialami oleh masyarakat. Bersamaan dengan KepPres tersebut pemerintah membentuk Tim Nasional (untuk selanjutnya akan disebut sebagai TimNas) BBN untuk menyusun *blue print* dan *road map* dari pengembangan BBN. *Blueprint* dan *roadmap* mendeskripsikan bagaimana program pemerintah supaya BBN dapat mensubstitusi BBM dalam jangka pendek dan jangka panjang. *Roadmap* diharapkan dapat mengefektifkan dan mensinkronkan upaya-upaya penelitian dan pengembangan BBN (yang intensitasnya meningkat) dalam arah yang menuju perkembangan industri BBN.

Pada tahun 2010, sesuai amanat Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 24 Tahun 2010, dibentuklah Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE). Tujuan pembentukan Ditjen EBTKE ini adalah untuk menyediakan tempat bersosialisasi dan meningkatkan kesadaran masyarakat, mempromosikan produk dan teknologi pada sektor EBTKE, membangun dan memperkuat jaringan dan kemitraan antara stakeholder, meningkatkan kerjasama antara pemerintah, pengusaha, investor, lembaga pendidikan dan lembaga lainnya untuk mencapai target EBTKE dan merangsang munculnya pengusaha baru di sektor EBTKE dan meningkatkan jumlah dan kapasitas proyek EBTKE secara signifikan dalam waktu dekat. BBN yang merupakan bagian dari energi baru terbarukan ditangani langsung oleh Ditjen EBTKE khususnya di bidang bioenergi.

Sejak tahun 2008, Pemerintah telah memberlakukan kebijakan mandatori pemanfaatan BBN pada sektor transportasi, industri dan

pembangkit listrik melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain. Mandatori tersebut diperbaiki dalam perubahan pertama dengan Peraturan Menteri ESDM No. 25 Tahun 2013 perubahan kedua dengan Peraturan Menteri ESDM No. 20 Tahun 2014 dan perubahan ketiga dengan Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015.

Pemerintah telah mengatur produk Bahan Bakar Nabati (BBN) jenis biodiesel dalam keputusan Dirjen EBTKE No.723 K/10/DJE/2013 Tentang: Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar nabati (*Biofuel*) jenis Biodiesel sebagai bahan bakar lain yang di pasarkan di dalam negeri, yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 7182-2012 tentang Biodiesel. Dalam SNI ini telah diatur spesifikasi biodiesel di Indonesia yang dapat digunakan sebagai acuan untuk biodiesel 100% dari segala jenis bahan baku. Sedangkan Standar dan Mutu (Spesifikasi) BBN jenis bioetanol ditetapkan berdasarkan keputusan Dirjen EBTKE No.722 K/10/DJE/2013 Tentang: standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar nabati (*Biofuel*) jenis bioetanol sebagai bahan bakar lain yang di pasarkan di dalam negeri, yang mengacu pada SNI 7390-2012 tentang Bioetanol terdenaturasi untuk gasohol.

Spesifikasi Minyak Nabati Murni telah ditetapkan dalam keputusan Dirjen EBTKE 903 K/10/DJE/2013 Tentang: Standar dan mutu (Spesifikasi) Bahan bakar nabati (*Biofuel*) jenis Minyak nabati Murni untuk bahan bakar motor diesel putaran sedang, yang mengacu juga pada Standar Nasional Indonesia 7431: 2008 mengenai mutu dan metode uji minyak nabati murni untuk bahan bakar motor diesel putaran sedang. Standar dan mutu minyak nabati murni ini telah diperbaharui dengan keputusan Dirjen EBTKE No. 96 K/10/DJE/2015. Selain minyak nabati murni, telah ditetapkan keputusan Dirjen EBTKE No. 830K/10/DJE/2013 Tentang: Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati Teresterifikasi Parsial Untuk Motor diesel Putaran sedang.

Pada tahun 2014, kapasitas terpasang biodiesel telah mencapai 5,6 juta kL/tahun dari 25 produsen biodiesel yang telah memiliki izin usaha niaga BBN. Sebesar 4,5 juta kL/tahun diantaranya telah memproduksi secara

komersial. Sementara itu, kapasitas produksi bioetanol tercatat sebesar 416 ribu kL/tahun dari 8 produsen bioetanol yang telah memiliki izin usaha niaga BBN, dan yang siap memproduksi bioetanol fuel grade mencapai 167 ribu kL/tahun. Data perkembangan pemanfaatan biodiesel untuk konsumsi dalam negeri, terus meningkat setiap tahunnya, yaitu 359 ribu kL pada tahun 2011, 669 ribu kL pada tahun 2012, 1.048 ribu kL pada tahun 2013 dan 1.688 ribu kL pada tahun 2014.

Hal tersebut tentu perlu ditangani dengan serius agar pemanfaatannya dapat berkelanjutan dan terus meningkat di tahun yang akan datang tanpa ada masalah teknis. Untuk menjamin kualitas produk biofuel sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, harus ada kegiatan pengawasan/monitoring kualitas BBN yang beredar di Indonesia serta monitoring pencampuran BBN dan BBM untuk memastikan pencampuran dilakukan dengan baik sehingga konsistensi kadar BBN di dalam campurannya dengan BBM sesuai dengan mandatori BBN yang berlaku.

1.2 Jenis dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati

Bahan bakar nabati (BBN) adalah bahan bakar yang dibuat dari bahan dasar berbagai jenis tanaman dan biomassa. Biomassa adalah satu-satunya sumber energi terbarukan yang dapat menghasilkan, atau mudah dikonversi menjadi bahan bakar cair. Aneka rute produksi bahan bakar nabati dari biomassa disajikan pada Gambar 1.1. (Soerawidjaja, 2010). Dalam bentuk cair bahan bakar nabati dikenal berupa bioetanol dan *fatty acid metil ester* (FAME) atau Biodiesel. Bentuk yang terakhir inilah yang mendominasi bahan bakar nabati yang dipergunakan secara global (Escobar *et al.*, 2009). Bahan bakar cair merupakan bentuk energi final komersial yang paling strategis karena memiliki beberapa keunggulan yaitu:

- Dapat disimpan secara mudah dan aman untuk jangka waktu lama sehingga menjadi sediaan siaga untuk keadaan darurat
- Portabel, mudah diangkut dan dikirim jauh.
- Memiliki kerapatan energi besar.
- Relatif mudah dinyalakan, tetapi tidak mudah meledak.

Buku Ini Dilarang Digandakan

- Dapat dengan mudah dikonversi menjadi listrik.
- Aman sangat penting (kritis) bagi sektor transportasi.

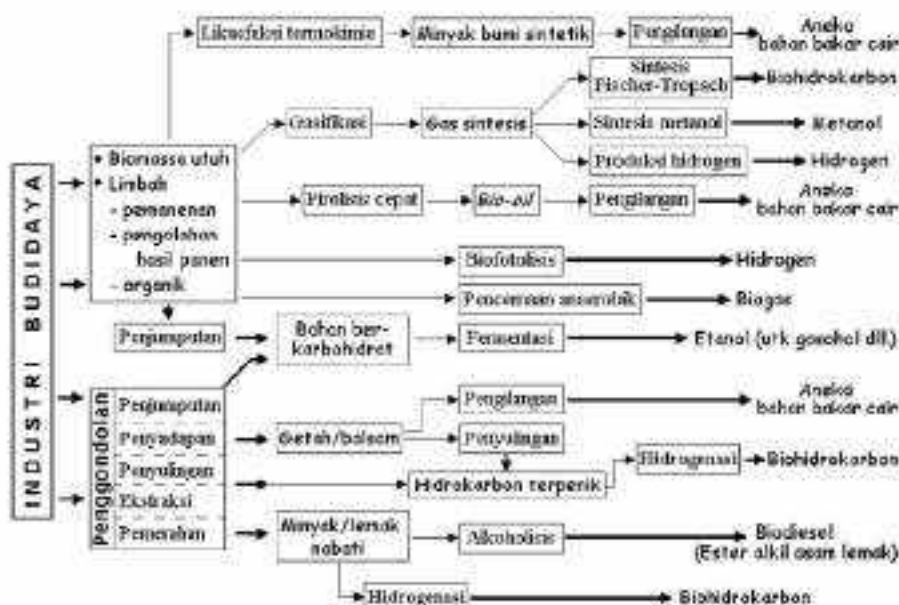
Pengembangan *green energy* atau energi yang berbahan baku nabati mempunyai tiga aspek penting yang diyakini dapat mendorong perekonomian nasional, yaitu:

- *Pro Jobs* untuk membuka lapangan kerja yang lebih luas
- *Pro Growth* yang dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi, dan
- *Pro Poor* yang akan mengurangi tingkat kemiskinan.

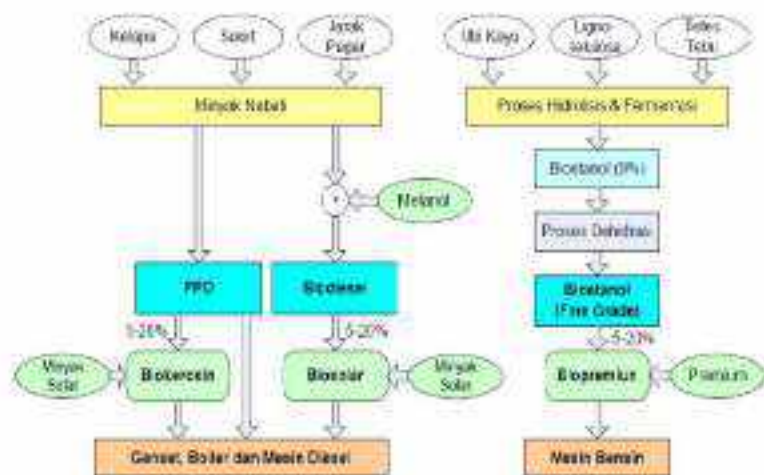
BBN merupakan salah satu bentuk *green energy* yang secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: biodiesel, bioetanol, dan Minyak Nabati Murni /*Pure Plant Oil (PPO)*. Biodiesel merupakan bentuk ester dari minyak nabati. Bahan baku dapat berasal dari kelapa sawit, jarak pagar, kedelai dan kelapa. Dalam pemanfaatannya dicampur dengan minyak solar dengan perbandingan tertentu. B5 merupakan campuran 5% biodiesel dengan 95% minyak solar yang dijual secara komersial oleh Pertamina dengan nama dagang biosolar.

Bioetanol merupakan *anhydrous* alkohol yang berasal dari fermentasi tetes tebu, singkong, jagung atau sagu. Bioetanol dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi premium. E5 merupakan campuran 5% bioetanol dengan 95% premium yang telah dipasarkan Pertamina dengan nama dagang biopremium. Penggunaan bioetanol sampai dengan E15 tidak perlu melakukan modifikasi mesin kendaraan yang sudah ada, tetapi untuk E100 hanya dapat digunakan untuk mobil jenis FFV (*flexible fuel vehicle*).

PPO merupakan minyak nabati murni tanpa perubahan sifat kimiawi dan dimanfaatkan secara langsung untuk mengurangi konsumsi solar industri, minyak diesel, minyak tanah dan minyak bakar. O15 merupakan campuran 15% PPO dengan 85% minyak diesel dan dapat digunakan tanpa tambahan peralatan khusus untuk bahan bakar peralatan industri. Pemakaian yang lebih besar dari O15 harus menambah peralatan konverter. Proses pembuatan BBN secara ringkas ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.1 Aneka rute produksi BBN dari biomassa (Soerawidjaja, 2010)



Sumber: Sugiyono, 2008

Gambar 1.2 Bahan baku dan proses pembuatan BBN

Bahan bakar nabati biodiesel dan bioetanol merupakan dua kandidat kuat pengganti solar dan bensin yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin Diesel dan Otto. Pemerintah Indonesia telah mencanangkan pengembangan dan implementasi dua macam bahan bakar tersebut bukan hanya untuk menanggulangi krisis energi yang mendera bangsa namun juga sebagai salah satu solusi kebangkitan ekonomi masyarakat.

1.3 Mandatori Pemanfaatan BBN di Indonesia

BBN bisa menjadi produk energi unggulan Indonesia yang memiliki nilai strategis karena merupakan satu-satunya sumber energi terbarukan yang bisa menghasilkan bahan bakar cair. BBN yang telah dikembangkan dapat dicampurkan ke dalam BBM padanannya dan tidak membutuhkan infrastruktur perniagaan baru karena dapat menggunakan infrastruktur yang sudah ada seperti depo, kapal tanker, sistem perpipaan, mobil tangki, dan SPBU. BBN merupakan salah satu bentuk *green energy* yang secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: biodiesel, bioetanol, dan Minyak Nabati Murni /*Pure Plant Oil* (PPO).

Biodiesel (B100) merupakan BBN yang berupa ester metil dari asam-asam lemak minyak nabati. Bahan baku dapat berasal dari berbagai jenis minyak nabati baik pangan maupun non pangan. Dalam pemanfaatannya dicampur dengan minyak solar dengan perbandingan tertentu. BX adalah bahan bakar yang merupakan campuran X % volume biodiesel dengan (100-X) % volume minyak diesel fosil.

Bioetanol (E100) adalah etanol yang dibuat dari bahan nabati (bergula, berpati, atau berselulosa). Etanol anhidrat adalah etanol yang dihasilkan dari proses dehidrasi dengan kadar etanol minimal 99,5%-v, sering disebut *fuel grade ethanol* (FGE). Gasohol (kependekan dari *gasoline-alcohol*) campuran (*blending*) antara bensin (*gasoline*) dengan FGE. Sedangkan Gasohol EX adalah bahan bakar yang merupakan campuran X%-v FGE dengan (100-X) %-v bensin.

PPO merupakan minyak nabati murni tanpa perubahan sifat kimiawi dan dimanfaatkan secara langsung untuk mengurangi konsumsi solar industri, minyak diesel, minyak tanah dan minyak bakar. OX merupakan

campuran X%-v PPO dengan 85% minyak diesel dan dapat digunakan tanpa tambahan peralatan khusus untuk bahan bakar peralatan industri.

Pemerintah mengatur pemanfaatan bahan bakar nabati di Indonesia melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2015 yang merupakan perubahan ketiga dari Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai bahan bakar lain. Dalam peraturan yang baru ini terdapat kewajiban penambahan persentase penggunaan Bahan Bakar Nabati sesuai dengan pentahapan yang ditetapkan. Tabel 1.1 memperlihatkan penahapan kewajiban minimal pemanfaatan Bahan Bakar Nabati baik itu Biodiesel, Bioetanol, maupun Minyak Nabati Murni (PPO).

Tabel 1.1 Pentahapan Kewajiban Minimal Pemanfaatan BBN Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2015

BBN	Jenis Sektor	April 2015	Januari 2016	Januari 2020	Januari 2025	Keterangan	
BIO DIESEL	Rumah Tangga	-	-	-	-	nilai ini tidak ditentukan	
	Usaha Mikro, Usaha Perikanan, Usaha Pertanian, Transportasi, dan Pelayanan Umum (PSU)	15%	20%	30%	30%	terhadap kebutuhan total	
	Transportasi Non PSU	15%	20%	30%	30%	terhadap kebutuhan total	
	Industri dan Komersial	15%	20%	30%	30%	terhadap kebutuhan total	
	Pembangkit Listrik	25%	30%	30%	30%	terhadap kebutuhan total	
BIO ETANOL	Rumah Tangga	-	-	-	-	nilai ini tidak ditentukan	
	Usaha Mikro, Usaha Perikanan, Usaha Pertanian, Transportasi, dan Pelayanan Umum (PSU)	1%	2%	5%	20%	terhadap kebutuhan total	
	Transportasi Non PSU	2%	5%	10%	20%	terhadap kebutuhan total	
	Industri dan Komersial	2%	5%	10%	20%	terhadap kebutuhan total	
	Pembangkit Listrik	-	-	-	-	terhadap kebutuhan total	
MINYAK NABATI MURNI	Rumah Tangga	-	-	-	-	nilai ini tidak ditentukan	
	Industri dan Transportasi (Low and medium speed engine)	Industri	10%	20%	20%	20%	terhadap kebutuhan total
		Transportasi Laut	10%	20%	20%	20%	terhadap kebutuhan total
	Transportasi Udara	-	2%	3%	5%	terhadap kebutuhan total	
	Pembangkit Listrik	5%	20%	20%	20%	terhadap kebutuhan total	



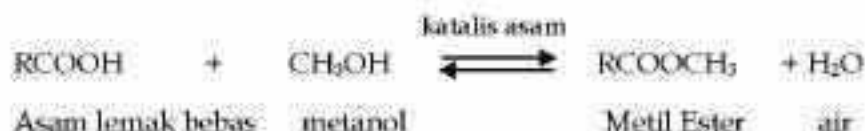
PROSES PRODUKSI BIODIESEL

Biodiesel dapat dibentuk melalui reaksi esterifikasi, transesterifikasi dan perengkahan, baik thermal maupun katalitik. Reaksi esterifikasi bertujuan untuk mengkonversi asam lemak bebas menjadi metil ester dengan diikuti pelepasan air. Reaksi transesterifikasi bertujuan untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester dan diikuti produk samping gliserol. Reaksi perengkahan bertujuan mengkonversi asam lemak bebas dan trigliserida menjadi biofuels seperti biogasolin, biokerosin, biosolar dan bioavtur (Widayat 2005-2006; Buchori dan Widayat, 2010). Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dapat dilangsungkan tanpa katalis maupun dengan katalis. Produk reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah metil ester yang lebih dikenal sebagai bahan bakar dengan nama biodiesel baik sebagai campuran maupun murni. Biodiesel / biosolar yang umum adalah B-20 yaitu merupakan campuran metil ester 20 % dan solar 80%.

2.1 Esterifikasi

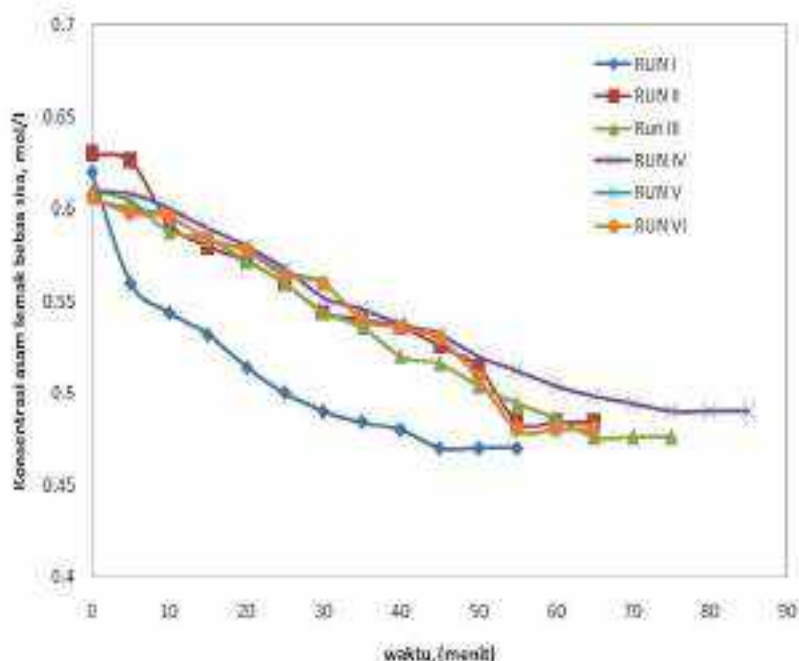
Proses pertama dalam memproduksi biodiesel adalah dengan reaksi esterifikasi. Untuk mempercepat berlangsungnya reaksi perlu ditambahkan dengan katalis. Katalis-katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam seperti asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam.

kuat (Widayat dan Wibowo, 2013, 2006). Reaksi esterifikasi mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut:



Untuk mendorong agar reaksi bisa berlangsung ke arah produk, maka reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang berlebih, atau air sebagai produk ikutan reaksi harus disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Untuk langkah pertama, dilakukan pada saat awal reaksi mulai berlangsung dengan membuat rasio asam lemak bebas dengan metanol lebih besar dari 1:3. Pada langkah kedua, dapat dilakukan dengan proses reaksi adsorpsi dan reaksi - distilasi. Untuk proses reaksi - adsorpsi maka air yang terbentuk diserap dengan menggunakan adsorbent atau molekuler sieve. Reaksi - distilasi dilangsungkan dalam titik didihnya sehingga air bisa teruapkan. Dalam proses ini, metanol akan teruapkan juga bersama dengan air, sehingga dibutuhkan pemisahan metanol dan air serta *recycle* metanol dari kolom distilasi. Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas tinggi (≥ 5 mg-KOH/g) (Krawczyk, 1996., Kalam dan Masjuki, 2002).

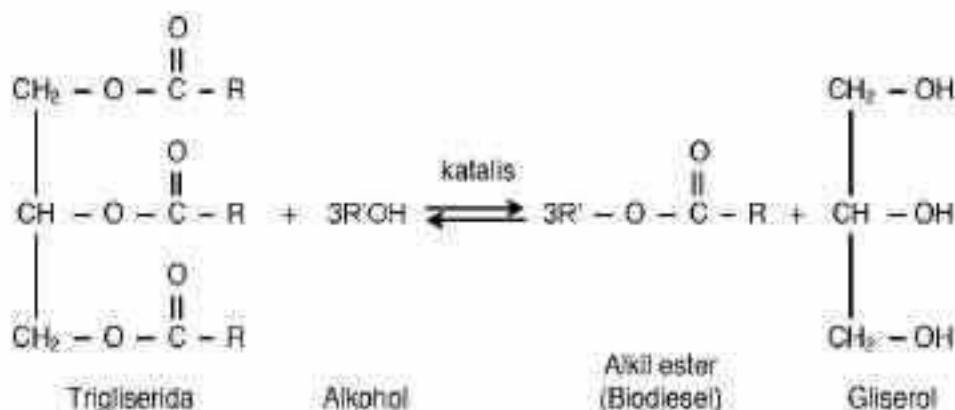
Widayat dan Suherman (2012), telah melakukan percobaan reaksi esterifikasi minyak biji karet menjadi metil ester. Hasil penelitian sebagaimana disajikan dalam Gambar 2.1 merupakan korelasi asam lemak bebas versus waktu. Waktu yang dibutuhkan berkisar 60 menit. Proses yang efisien adalah proses produksi biodiesel berbantuan gelombang ultrasonik. Dalam proses ini, hanya membutuhkan waktu operasi 30 menit dengan perolehan yield biodiesel yang berkisar 90-98%.



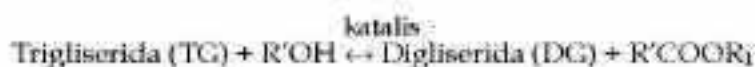
Gambar 2.1 Proses produksi biodiesel dengan esterifikasi (Widayat dan Suherman, 2012)

2.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses transformasi kimia molekul trigliserida menjadi metil ester dengan produk ikutan adalah gliserol. Minyak nabati atau lemak hewani yang terdiri dari trigliserida bereaksi dengan alkohol (metanol) membentuk senyawa alkil ester (atau untuk metanol menjadi metil ester) (Widayat dan Wibowo, 2013). Laju reaksi dapat secara signifikan ditingkatkan dengan keberadaan katalis asam atau basa. Katalis basa (NaOH, KOH) biasa digunakan untuk meningkatkan laju reaksi dan meningkatkan yield dari proses. Reaksi transesterifikasi adalah reaksi dapat balik (reversible), maka diperlukan alkohol berlebih untuk menggeser keseimbangan reaksi ke sisi produk. Reaksi transesterifikasi sebagaimana disajikan dalam persamaan reaksi berikut ini.



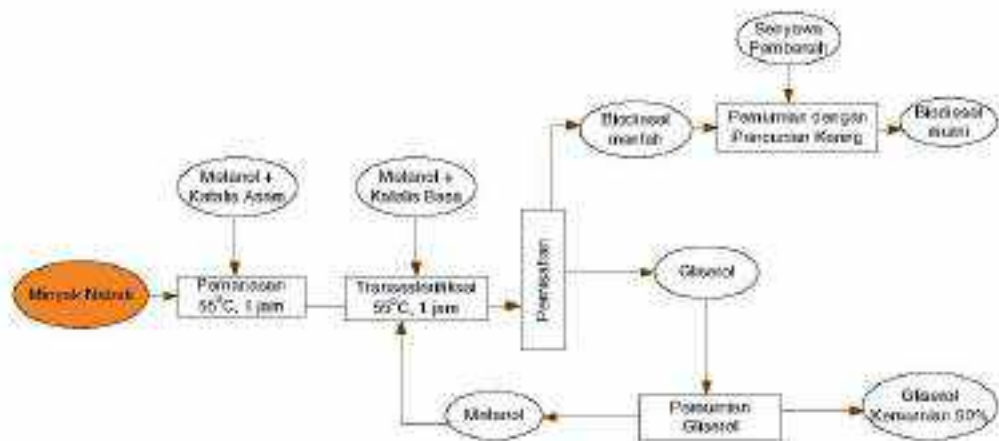
Mekanisme reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Langkah pertama adalah konversi dari trigliserida menjadi digliserida yang diikuti oleh konversi digliserida menjadi monogliserida dan akhirnya monogliserida menjadi gliserol dan menghasilkan satu molekul metil-ester dari setiap gliserida pada setiap langkah.

Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dapat dilangsungkan sendiri-sendiri maupun bergantian tergantung dari bahan baku. Jika bahan baku hanya asam lemak bebas, maka reaksi esterifikasi sebagai reaksi utama. Untuk bahan baku dengan kadar asam lemak bebas rendah kurang dari 0,5% maka reaksi transesterifikasi yang digunakan. Reaksi esterifikasi dilanjutkan dengan transesterifikasi jika bahan baku mengandung asam lemak bebas dan trigliserida. Berikut penjelasan untuk proses yang dilangsungkan secara berlanjut.

Bahan baku merupakan minyak nabati dengan kadar asam lemak bebas tinggi. Jika bahan baku mengandung fosfolipid dan resin, tentunya harus dihilangkan dulu dengan proses degumming, yaitu dengan penambahan asam fosfat. Proses selanjutnya dengan proses esterifikasi dengan bantuan katalis asam sulfat. Trigliserida dikonversi menjadi metil ester dengan katalis basa seperti NaOH (natrium hidroksida) atau KOH (kalium hidroksida). Metil ester sebagai produk biodiesel dipisahkan dengan dekantasi dan dilanjutkan dengan proses pencucian dengan air panas. Gliserol diperoleh sebagai hasil samping. Diagram alir proses produksi biodiesel dengan cara tersebut disajikan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram alir proses produksi biodiesel

Widayat dkk (2012) melakukan penelitian dan diperoleh bahwa Biodiesel yang diperoleh sudah memenuhi (Standar Nasional Indonesia) SNI untuk parameter densitas, viskositas dan bilangan setana sebesar 55,72. Kajian terhadap parameter perbandingan mol metanol terhadap minyak, diperoleh suatu kondisi yang optimum yaitu pada rasio metanol terhadap BBN pada nilai 11,04:1. Pada kondisi ini, diperoleh konversi biodiesel sebesar 94,55 % dengan konsentrasi katalis 0,5 % dan waktu reaksi optimum dicapai pada waktu 40 menit (Widayat dkk, 2012). Pengembangan biodiesel dengan proses berbantuan gelombang ultrasonik telah dilakukan dengan menggunakan umpan tunggal (Widayat

dkk, 2012, Kiono dkk 2016) maupun dengan umpan multi (Widayat dkk, 2016).

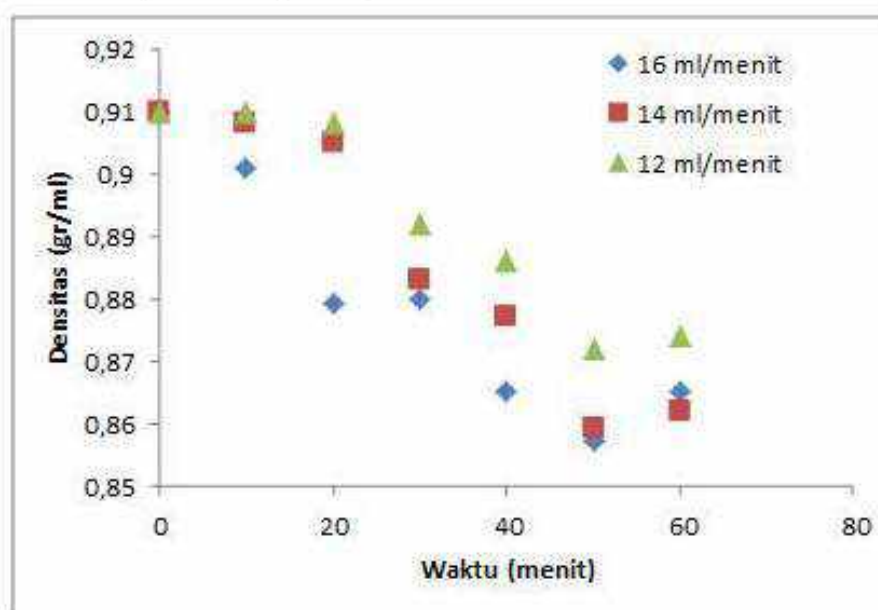
Proses produksi biodiesel dapat juga dilangsungkan secara kontinu, dengan susunan alat seperti disajikan pada Gambar 2.3. Peralatan tersebut terdiri dari tangki umpan dan tangki pencampuran katalis KOH dengan metanol. Umpan dan katalis kalium metoksida dimasukkan ke reaktor dan dengan bantuan gelombang ultrasonik akan dihasilkan produk biodiesel. Produk biodiesel dipisahkan dari sisa katalis dan produk samping dengan dekantasi dan pencucian.



Gambar 2.3 *Pilot plant proses produksi biodiesel secara kontinu (Widayat dkk, 2017)*

Hasil ujicoba dengan proses kontinu tersebut, disajikan pada Gambar 2.4. Dalam ujicoba ini, parameter yang diamati adalah densitas dan viskositas. Gambar 2.4 menunjukkan bahwa seiring dengan waktu reaksi transesterifikasi, densitas produk biodiesel mengalami penurunan hingga rentang waktu tertentu, sampai akhirnya meningkat kembali. Hal ini menunjukkan bahwa BBN sudah mulai terkonversi menjadi metil ester/ biodiesel, dengan fenomena penurunan densitas produk yang mendekati dengan densitas biodiesel yaitu 0,850 – 0,890 gr/ml (SNI-04-7182-2006).

Dalam suatu rentang waktu tertentu, densitas campuran dari reaksi BNN dan metanol tersebut mengalami peningkatan kembali. Hal ini disebabkan, reaksi transesterifikasi biodiesel merupakan reaksi reversible/dapat balik antara trigliserida (minyak) dan metanol yang membentuk metil ester (biodiesel) dan gliserol, dengan bantuan katalis basa, sehingga memungkinkan produk metil ester bereaksi kembali dengan gliserol membentuk trigliserida dengan bertambahnya waktu reaksi. Hal ini juga menunjukkan bahwa waktu tinggal selama proses kontinu perlu dijaga tidak boleh melebihi 50 menit. Dengan hasil ini menunjukkan keberhasilan peralatan proses produksi biodiesel secara kontinu.



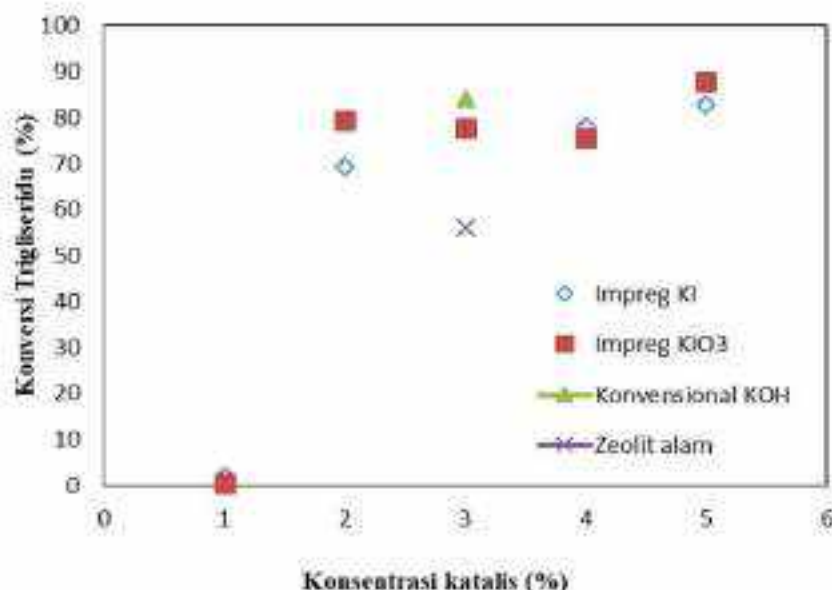
Gambar 2.4 Grafik hubungan densitas dengan waktu pada berbagai laju alir (Widayat dkk, 2017)

2.3 Proses Produksi Biodiesel dengan Katalis Heterogen

Untuk mengatasi kelemahan dalam proses produksi biodiesel dengan katalis homogen, maka digunakan katalis heterogen. Pengembangan katalis heterogen yang telah dilakukan mengacu kepada sumber daya alam yang ada di Indonesia seperti batu kapur, zeolit alam dan juga limbah

Buku Ini Dilarang Digandakan

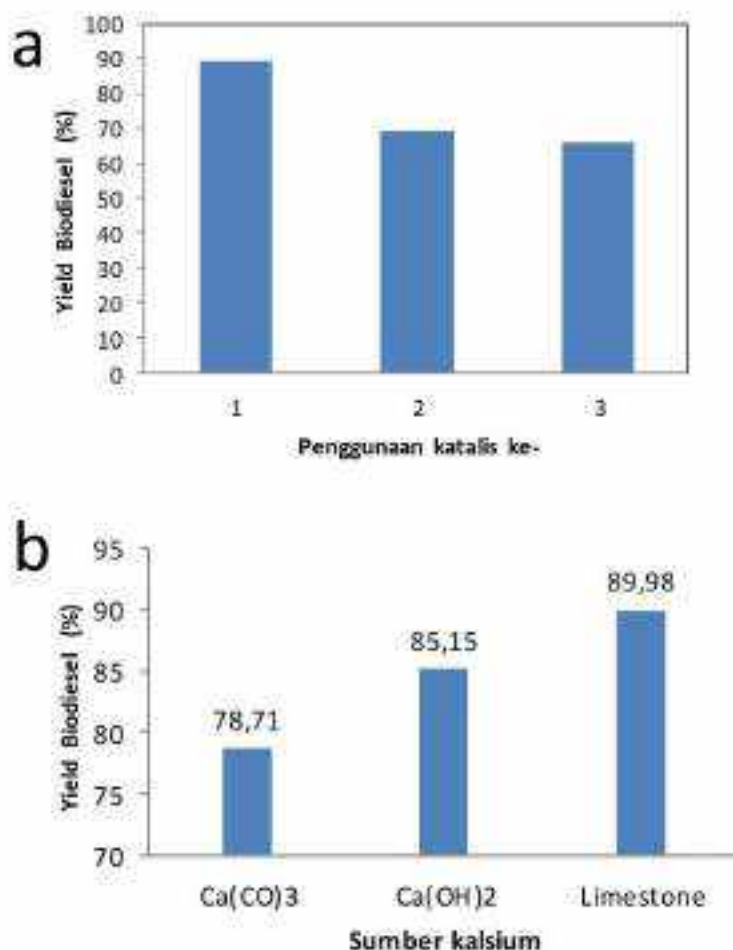
padat. Widayat dkk (2016) mengembangkan katalis heterogen dari H-zeolit yang diimbangkan pada senyawa kalium iodida (KI) dan kalium iodat (KIO_3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis ini mampu digunakan dalam produksi biodiesel menyamai proses produksi biodiesel dengan katalis homogen sebagaimana disajikan dalam Gambar 2.5. Untuk konsentrasi katalis KIO_3 -H-zeolit 5%, hasil yang diperoleh melebihi hasil pada proses produksi biodiesel dengan katalis homogen (KOH).



Gambar 2.5 Proses produksi biodiesel dengan katalis heterogen (H-zeolit).
(Widayat dkk, 2015)

Penelitian lain tentang penggunaan katalis heterogen adalah dengan batuan kapur (Widayat dkk, 2016) yang dikombinasikan dengan abu layang sebagai katalis campuran dan hasilnya disajikan dalam Gambar 2.6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis berbahan batukapur juga berpotensi untuk dikembangkan sebagai katalis dalam proses produksi biodiesel (Widayat dkk, 2016 dan Hadiyanto dkk, 2016a,b). Gambar 2.6 menunjukkan bahwa katalis kalsium yang diperoleh dari batuan kapur lebih baik dibandingkan dengan katalis kalsium dari kalsium hidroksida

($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan kalsium karbonat. Hal ini dikarenakan kristal CaO yang disintesis dari batuan kapur mempunyai kristalinitas lebih baik dari kristalinitas katalis CaO yang disintesis dari kalsium hidroksida dan kalsium karbonat. Bahkan katalis tersebut mampu digunakan sampai tiga kali dengan yield lebih baik dibandingkan katalis CaO dari kerang *Anadara granosa* (Widayat dkk, 2016a,b) seperti terlihat pada Gambar 2.6a.

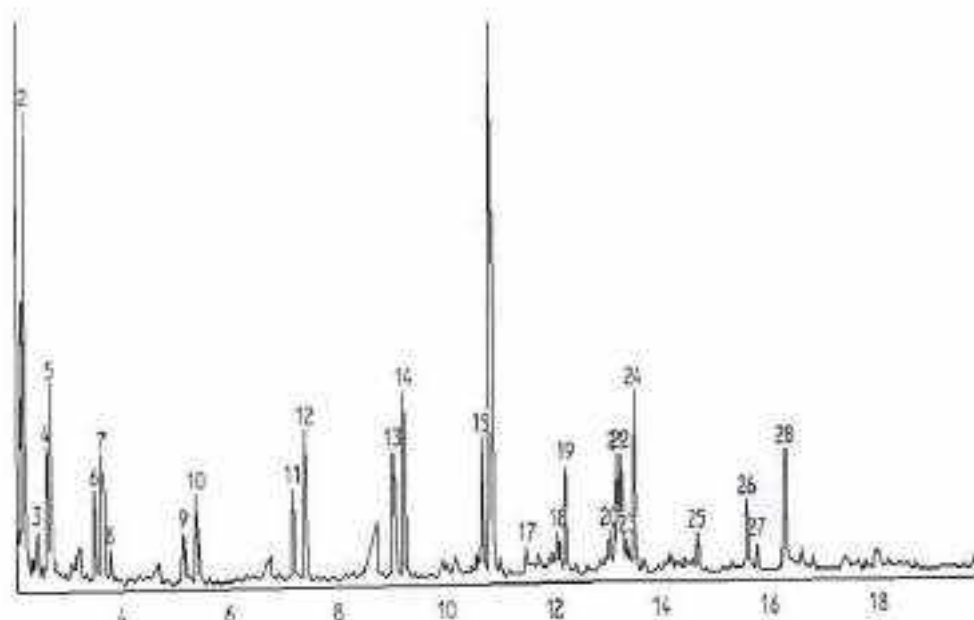


Gambar 2.6. Proses produksi biodiesel dengan katalis CaO bersumber dari berbagai batuan kapur (Widayat, dkk, 2016)

2.4 Proses Produksi Biodiesel dengan Proses Perengkahan

Biodiesel juga dapat diproduksi dengan perengkahan, namun hasil yang diperoleh masih merupakan campuran beragam jenis BBM. Widayat (2005, 2006) dan Widayat dkk. (2012) telah melakukan penelitian dengan proses perengkahan berkatalis zeolit alam dari minyak goreng bekas dan ternyata produk yang diperoleh sebagian besar adalah fraksi solar (minyak diesel). Penelitian produksi biodiesel dengan perengkahan dilanjutkan oleh Widayat dkk (2012) dengan BBN minyak kelapa sawit dan katalis zeolit alam, dan produk bahan bakar cair yang dihasilkan dapat dikelompokkan dalam bensin, kerosin, dan solar (diesel). Yield bahan bakar cair tertinggi sebesar 77,86% diperoleh pada kondisi ukuran katalis zeolite 0,85 - 1,14 mm dan suhu perengkahan 400 °C. Hasil analisis produk dengan *Gas Chromatography Mass Spectroscopy* (GCMS) ditunjukkan dalam Gambar 2.7 dan Tabel 2.1.

Gambar 2.7 merupakan kromatogram dari sampel produk cair, yang menunjukkan bahwa pada setiap waktu tinggal tertentu, merupakan produk-produk senyawa hidrokarbon tertentu. Berdasarkan pengolahan data dari *library* pada mesin alat GCMS, yang hasilnya disajikan dalam Tabel 2.1, terlihat bahwa produk proses perengkahan sudah dikelompokkan menurut klasifikasi bahan bahan bakar minyak seperti bensin, kerosin dan solar. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa, produk yang mengandung bahan bakar cair golongan bensin / gasolin (C_7-C_9) muncul pada waktu retensi 2,183, golongan kerosin ($C_{10}-C_{15}$) untuk waktu retensi 7,4 - 9,223 serta golongan solar ($C_{16}-C_{28}$) untuk waktu retensi 10,858 - 13,517. Dengan demikian produk perengkahan minyak sawit dengan katalis zeolit dapat digolongkan sebagai bahan bakar cair dengan jenis bensin, kerosin dan solar.



Gambar 2.7 Hasil analisa dengan GCMS (Widayat dkk, 2012)

Tabel 2.1 Hasil Analisa GCMS (untuk waktu retensi antara 2,183-13,517)
(Widayat dkk, 2012)

No.	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa
1	128	C_9H_{20}	Nonana
2	156	$C_{11}H_{24}$	Undekana
3	170	$C_{12}H_{26}$	Dodekana
4	184	$C_{13}H_{28}$	Tridekana
5	196	$C_{14}H_{30}$	Tetradekana
6	224	$C_{15}H_{32}$	Pentadekana
7	212	$C_{16}H_{34}$	Heksadekana
8	240	$C_{17}H_{36}$	Heptadekana



STANDAR MUTU BIODIESEL

3.1 Standar Mutu Biodiesel di Indonesia

Bahan Bakar Nabati (BBN) dapat menjadi produk energi unggulan Indonesia yang memiliki nilai strategis karena merupakan satu-satunya sumber energi terbarukan yang bisa menghasilkan bahan bakar cair. BBN yang telah dikembangkan dapat dicampurkan ke dalam BBM padanannya dan tidak membutuhkan infrastruktur perniagaan baru karena dapat menggunakan infrastruktur yang sudah ada seperti depo, kapal tanker, sistem perpipaan, mobil tangki, dan SPBU (Dirjen EBTKE, 2015).

Standardisasi mutu dari biodiesel mutlak untuk dilakukan mengingat kontribusi biodiesel yang sangat penting dan berarti terhadap bauran energi nasional (national energy mixed), sebagai bahan bakar substitusi khususnya untuk mesin/motor diesel. Standardisasi biodiesel ini diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dirumuskan oleh Panitia Teknis Perumusan Standar Nasional Indonesia 27-04: Bioenergi. Pemberlakuan standardisasi biodiesel bertujuan untuk melindungi konsumen dari sisi mutu biodiesel, serta melindungi produsen dari praktik kecurangan, dan juga mendukung perkembangan dari sektor industri biodiesel.

SNI 7182 merupakan SNI yang mengatur tentang standar mutu dari biodiesel. Standar tersebut diresmikan pada tahun 2006 dan menjadi patokan dari proses pembuatan ataupun kegiatan ekspor-impor dari biodiesel. Ruang lingkup dari SNI 7182 ini adalah persyaratan mutu dan metode pengujian biodiesel sebagai bahan bakar pengganti/substitusi atau campuran (blending) dengan minyak diesel yang berasal dari fosil sehingga memenuhi persyaratan spesifikasi dari instansi berwenang. Dalam perumusannya, SNI 7182 diformulasikan dengan memperhatikan masukan-masukan dari produsen, penyalur, konsumen, serta standar jenis yang diberlakukan oleh negara-negara lain yang tingkat komersialisasi dan pemakaian biodieselnnya sudah tinggi. Ada beberapa acuan normatif yang digunakan dalam menyusun SNI 7182 yang kebanyakan berasal dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM), diikuti oleh *European Union Standard* (EN) dan *American Oil Chemist Society* (AOCS). Acuan normatif dalam pembuatan SNI 7182 untuk standardisasi biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Acuan Normatif Standar Mutu Biodiesel Menurut SNI (Badan Standardisasi Nasional, 2015)

No.	Sumber Acuan	Deskripsi
1	SNI 19-0429-1989	Petunjuk pengambilan contoh cairan dan semi padat
2	ASTM D 1298	Metode uji standar untuk kepadatan, kerapatan relatif (berat jenis), atau gravitasi API dari minyak mentah dan produk petroleum cair dengan metode hidrometer
3	ASTM D 4052	Metode uji standar untuk kerapatan dan kepadatan relatif dari cairan oleh digital density meter
4	ASTM D 445	Metode uji standar untuk viskositas kinematik cairan transparan dan keruh (dan perhitungan viskositas dinamis)
5	ASTM D 613	Metode uji standar untuk cetane number solar fuel oil
6	ASTM D 6890	Metode uji standar untuk Penentuan Penundaan Pengapian dan <i>Derived Cetane Number</i> (DCN) dari diesel fosil dengan pembakaran dalam ruang volume konstan

No.	Sumber Acuan	Deskripsi
7	ASTM D 93	Metode uji standar untuk <i>flash</i> - <i>Point by pensky</i> - Martens cup tester tertutup.
8	ASTM D 2500	Metode uji standar untuk titik awan produk minyak bumi
9	ASTM D 130 - 10	Metode uji standar untuk korosi terhadap tembaga dari produk minyak bumi dengan uji strip tembaga
10	ASTM D 4530	Metode uji standar untuk penentuan residu karbon (metode mikro)
11	ASTM D 189	Metode uji standar untuk residu karbon conradson dari produk minyak bumi
12	ASTM D 1160	Metode uji standar untuk distilasi produk minyak bumi pada tekanan rendah
13	ASTM D 874	Metode uji standar untuk abu sulfat dari minyak pelumas dan aditif
14	ASTM D 2709	Metode uji standar untuk air dan sedimen dalam bahan bakar distilat menengah dengan centrifuge
15	ASTM D 5453	Metode uji standar untuk penentuan total sulfur dalam hidrokarbon ringan, fules motor dan minyak dengan fluoresensi ultraviolet
16	ASTM D 1266	Metode uji standar untuk sulfur dalam produk minyak bumi (metode lampu)
17	ASTM D 4294	Metode uji standar untuk sulfur dalam minyak bumi dan produk minyak bumi dengan spektrometri fluoresensi sinar-X energi dispersif
18	ASTM D 2622 - 10	Metode uji standar untuk sulfur dalam produk minyak bumi dengan spektrometri fluoresensi sinar-X panjang gelombang dispersif
19	AOCS Ca 12-55	Pengujian fosfor dengan metode kolorimetri
20	AOCS Cd 3d-63	Pengujian Nilai asam lemak dan minyak
21	ASTM D 664	Metode uji standar untuk bilangan asam produk minyak bumi dengan potensiometri
22	AOCS Ca 14-56	Pengujian gliserol (total, bebas dan kombinasi)
23	ASTM D 6384	Metode pengujian untuk penentuan gliserine bebas dan total dalam B-100 biodiesel methyl ester dengan kromatografi gas

No.	Sumber Acuan	Deskripsi
24	AOCS Cd 1-25	Pengujian nilai iodium dari lemak dan minyak dengan metode wijs
25	EN 15731	Bahan bakar lemak metil ester (FAME) dan campuran dengan bahan bakar diesel - Penentuan stabilitas oksidasi dengan metode oksidasi yang dipercepat
26	ASTM D 7345	Metode uji standar untuk stabilitas oksidasi bahan bakar distilat tengah – tes oksidasi skala kecil cepat (RSSOT)
27	AOCS Cd 6-38	Pengujian asam lemak padat dalam lemak dan minyak
28	AOCS Cd 1d-92	Pengujian sikloheksana - metode asam asetat

3.2 Perkembangan Standard Biodiesel di Indonesia

Biodiesel (B100) merupakan BBN yang berupa campuran ester metil dari asam-asam lemak minyak atau Fatty Acid Methyl Ester (FAME). Dalam pemanfaatannya, biodiesel dicampur dengan minyak solar dengan perbandingan tertentu dan hasil campuran tersebut dinamakan biosolar. BX adalah bahan bakar yang merupakan campuran X % volume biodiesel dengan (100-X) % volume minyak solar. Biosolar B15-B30 merupakan mandatori yang dikeluarkan oleh pemerintah sebagai upaya untuk mendukung peralihan bahan bakar fosil menjadi bahan bakar dari energi baru dan terbarukan. Untuk mendukung pelaksanaan mandatori tersebut, peningkatan kualitas biodiesel perlu terus diupayakan sehingga penggunaan biodiesel atau biosolar tersebut aman untuk digunakan. Semakin tinggi porsi biodiesel dalam campuran, kualitas biodiesel yang dibutuhkan juga harus semakin tinggi, sehingga standar mutu biodiesel terus mengalami beberapa perubahan. Perkembangan syarat mutu biodiesel sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Perkembangan Syarat Mutu Biodiesel sesuai SNI (Badan Standardisasi Nasional, 2006; Badan Standardisasi Nasional, 2012; Badan Standardisasi Nasional, 2015)

No	Parameter	Persyaratan SNI 7182			Satuan	Maks/min
		2006	2012	2015		
1	Massa jenis pada 40 °C	850 – 890	850 – 890	850 – 890	kg/m ³	-
2	Viskositas kinematik pd 40 °C	2,3 – 6,0	2,3 – 6,0	2,3 – 6,0	mm ² /s (cSt)	
3	Angka setana	51	51	51		Min
4	Titik nyala (mangkuk tertutup)	100	100	100	°C	Min
5	Titik kabut (cloud point)	18	18	18	°C	Maks
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)	No. 3	No.1	No.1	-	Maks
7	Residu karbon dalam percobaan asli atau dalam 10 % ampas distilasi	maks 0,05 maks. 0,30	maks 0,05 maks. 0,30	maks 0,05 maks. 0,30	%-massa	-
8	Air dan sedimen	0,05	0,05	0,05	%-vol.	Maks
9	Temperatur distilasi 90 %	360	360	360	°C	Maks
10	Abu tersulfatkan	0,02	0,02	0,02	%-massa	Maks
11	Belerang	100	100	50	mg/kg	Maks
12	Fosfor	10	10	4	mg/kg	Maks
13	Angka asam	0,8	0,6	0,5	mg- KOH/g	Maks
14	Gliserol bebas	0,02	0,02	0,02	%-massa	Maks
15	Gliserol total	0,24	0,24	0,24	%-massa	Maks
16	Kadar ester metil	96,5	96,5	96,5	%-massa	Maks
17	Angka iodium	115	115	115	%-massa (g-I ₂ /100 g)	Maks
18	Kestabilan oksidasi Periode induksi metode rancimat	-	360	480	menit	
	Periode induksi metode petro oksidasi	-	27	36		
19	Uji Halphen	Negatif	-	-		
20	Monogliserida	-	-	0,8	%-massa	Maks

Pada tahun 2006, Badan Standarisasi Nasional (BSN) menetapkan persyaratan mutu dan metode uji biodiesel sebagai bahan bakar substitusi atau campuran (blending) dengan minyak diesel fosil yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada tahun 2012 BSN melakukan revisi SNI 7182:2006 menjadi SNI 7182:2012 dengan perubahan syarat mutu angka asam dari maksimum 0,8 mg-KOH/g menjadi 0,6 mg-KOH/g. Penurunan nilai maksimal dari angka asam ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas biodiesel, yang mana dengan sedikit angka asam menunjukkan sedikit asam lemak bebas yang terkandung dalam biodiesel. Semakin sedikit angka asam, kualitas biodiesel semakin baik. Korosi lempeng juga berubah, dari yang awalnya maksimal nomor 3, berubah ke maksimal nomor 1. Selain itu, persyaratan mutu ditambahkan uji kestabilan oksidasi periode induksi metode rancimat dengan syarat minimum 360 menit serta meniadakan persyaratan uji Halphen. Uji Halphen digunakan untuk mengetahui keberadaan asam lemak sikloprophenoid yang dapat mengalami polimerisasi sehingga mengakibatkan penyumbatan mesin diesel. Uji Halphen bersifat kualitatif: positif atau negatif. Tidak ada angka atau besaran tertentu pada pengukuran ini. Uji kestabilan oksidasi dianggap lebih tepat untuk menentukan kualitas biodiesel daripada uji Halphen karena, uji kestabilan oksidasi mempunyai parameter kuantitatif. Semakin tinggi waktu kestabilan oksidasi, akan semakin bagus kualitas biodiesel yang dihasilkan. Pada tahun 2015, BSN kembali merevisi SNI 7182:2012 menjadi SNI 7182:2015 dengan perubahan kadar belerang dan fosfor, kestabilan oksidasi periode induksi metode rancimat menjadi minimum 480 menit dan menambahkan standar uji monogliserida dengan syarat maksimal 0,8 %-massa.

3.3 Perkembangan Standard Biodiesel di Luar Negeri

3.3.1 Standar Mutu Biodiesel di USA

Spesifikasi Biodiesel yang digunakan oleh US adalah ASTM D-6751, yang pertama kali diundangkan pada tahun 2002 dan selanjutnya mengalami beberapa kali modifikasi. Perubahan ini dilakukan karena

didorong oleh kebutuhan mesin produsen diesel. Tabel 3.3 menunjukkan secara ringkas perkembangan standar biodiesel ASTM-D6751.

Tabel 3.3 Perkembangan ASTM-D6751 (NREL, 2013; King, R, 2014)

No	Standar	Keterangan Perubahan
1	ASTM D6751-02	Standar biodiesel awal diterbitkan pada 2002
2	ASTM D6751-03	Penambahan kandungan sulfur max 15 ppm
3	ASTM D6751-03a	Modifikasi ' <i>middle distillate</i> ' term dan lubrisitas
4	ASTM D6751-06	Pengurangan bilangan asam dari 0.8 ke 0.5 dan adanya batas kandungan Na+K
5	ASTM D6751-06a	Penambahan batasan kandungan Ca+Mg
6	ASTM D6751-06b	Penambahan standar stabilitas oksidasi
7	ASTM D6751-07	Modifikasi bahasa dan penambahan metoda pengujian
8	ASTM D6751-07a	Penambahan pengujian alkohol dan modifikasi <i>flashpoint</i>
9	ASTM D6751-07b	Penambahan DCN (Derived Cetane Number dan metode pengujian sulfur
10	ASTM D6751-08	Penambahan <i>cold soak filterability</i> dengan D7501
11	ASTM D6751-09, 09a	Penambahan metode pengujian <i>cloud point</i>
12	ASTM D6751-10	Penambahan EN 15751 metoda pengujian stabilitas
13	ASTM D6751-11	Penambahan standar penggunaan pada pengoperasian temperatur rendah
14	ASTM D6751-11a	Penggantian pengujian <i>cold soak filterability</i> dengan D6751
15	ASTM D6751-11b	Penambahan metoda pengujian baru
16	ASTM D6751-12	Penambahan <i>IB Grade</i> , perubahan ruang lingkup, dan metoda baru
17	ASTM D6751-15 *)	Spesifikasi standar bahan bakar biodiesel <i>blend stock (B100) untuk middle distillate fuels</i>

* <https://www.astm.org/Standards/D6751.htm>

Uraian Tabel 3.3 secara lengkap adalah sebagai berikut, bahwa formulasi standar biodiesel di USA dimulai pada tahun 1990, digunakan untuk mendukung peningkatan penggunaan biodiesel berbasis alkil ester, dan hasil pencampurannya sebagai bahan bakar otomotif. Biodiesel dirancang untuk memenuhi standar B100 sesuai dengan ASTM D6751. Biodiesel *blend* merupakan campuran biodiesel dengan bahan bakar petroleum, misal BXX, dengan XX adalah persen volum biodiesel.

Pertama kali dilakukan publikasi standar ASTM D6751-02 pada tahun 2002, yaitu standar mutu biodiesel B100 untuk pencampuran sampai dengan B20. ASTM D6751 terus menerus meningkat dan berkembang dari tahun ke tahun khususnya karena perubahan petrodiesel dan mesin (NREL, 2013). Selanjutnya diikuti perubahan pada ASTM D6751-03, dengan adanya penambahan 15 ppm sulfur dan selanjutnya ASTM D6751-03a karena adanya modifikasi terhadap istilah "*middle distillate*" dan lubrisitas, yang berlaku maksimum pada temperatur 360°C (Winrock, 2012).

Perkembangan untuk standar ASTM D6751-06, terjadi dengan adanya pengurangan standar bilangan asam (*Acid Value, AV*) dari 0,8 (Suganya, 2013) menjadi 0,5 seperti yang tertulis dalam Kiakalaieh (2013) yang tersaji pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 ASTM D6751-06 (Kiakalaieh, 2013)

Parameter	ASTM D6751-06
Bilangan Asam, mg KOH/ g minyak	≤ 0,5
Viskositas Kinematik 40°C, ×10 ⁴ m ² /detik	1,9 - 0,6
Densitas, kg/m ³	860 - 894
Titik Nyala, °C	100 - 170
Titik Kabut	-3,0 - 15,0
Titik Tuang	-5,0 - 10,0

Pada tahun 2006, ASTM D6751-06 berubah menjadi ASTM D6751-06a, karena adanya batasan kandungan kalsium dan magnesium. Pada proses pembuatan biodiesel digunakan katalis natrium hidroksida, Kalium hidroksida, dan metoksida dalam larutan alkohol. Jika pemurnian tidak sempurna, maka katalis tersebut akan menjadi pengotor. Kalsium dan Magnesium dimasukkan ke dalam biodiesel sebagai penetral selama proses

pemurnian, sehingga perlu batasan penambahan bahan kimia tersebut dan ASTM D6571-06b merupakan penambahan standar stabilitas oksidasi (Caland, 2012).

ASTM D6751-07, mengalami modifikasi bahasa dan penambahan metode pengujian. Dilanjutkan dengan perkembangan pada 07-a berupa penambahan kontrol alkohol yang besarnya maksimum 0,2% volum dengan metode pengujian EN 14110, dan modifikasi *flash point* minimum 130 °C dan versi terakhir minimum menjadi 93 °C dengan metode ASTM D93 (Rillet, J. 2008). Perkembangan 07-b merupakan penambahan DCN (*Derived Cetane Number*), yang pada umumnya nilai kisaran untuk biodiesel adalah 53-57 dan minimum 47. Selain itu adanya tambahan metode pengujian sulfur (Rillet, J. 2008)

Pada bulan Oktober 2008, ASTM merevisi ASTM D6751-08 dengan adanya penambahan standar *Cold Soak Filterability Test* (CSFT) pada biodiesel, untuk mengontrol komponen minor dan sebagai indikator bahwa bahan bakar dapat digunakan di musim dingin, karena biodiesel sukar menguap, sehingga memungkinkan membentuk endapan (NREL, 2009; ASTM, 2009).

Perkembangan ASTM yang lain terjadi pada ASTM D6751-09 dan -09a, yaitu dengan adanya penambahan metode pengujian *cloud point*. Sejak pertama kali dipublikasikannya standar biodiesel pada tahun 2009, beberapa parameter ditambahkan dan / atau dimodifikasi menjadi ASTM D6751-09 (ASTM, 2009, sedangkan perkembangan ASTM D6751-10, terjadi karena adanya perkembangan spesifikasi biodiesel murni dan blending dengan petrodiesel, yaitu dengan penambahan standar EN 15751 sebagai metode penentuan stabilitas (Johnson, RA., 2011)

ASTM D6751-11 mengalami perubahan dengan adanya penambahan metode pengujian dan lampiran pengoperasian pada temperatur rendah. Perkembangan -11a untuk memfasilitasi *penggantian cold soak filterability annex* dengan D7501; B100 dimaksudkan untuk dicampurkan dengan bahan bakar diesel, yang diharapkan dapat memberikan performa kendaraan yang memuaskan pada temperatur bahan bakar di bawah atau

pada 12 °C, dan nilai *cold soak filtration* maksimum adalah 200 detik. Perkembangan-11b berupa penambahan metode pengujian baru, ASTM D6751-11b yang merupakan spesifikasi standar untuk *biodiesel fuel blend stock (B100)* bahan bakar *middle distillate* (Maxxam, 2015)

Pada tahun 2012, terjadi perkembangan pada ASTM D6571-12, dengan adanya tambahan 1B - *grade*, yg memperbaharui cakupan, dan metode pengujian. Berdasarkan ASTM D6751, standar ASTM biodiesel murni (B100) blending, dimodifikasi untuk menghasilkan *No. 1-B grade*, merupakan grade baru yang mengatur komponen minor biodiesel (minyak nabati atau lemak hewani). Perkembangan spesifikasi biodiesel lain yang sejenis adalah *No. 2-B grade*, penggunaannya sama dengan No 1-B, tetapi jika terjadi *filter clogging* (penyumbatan filter), maka diubah menggunakan *diesel fuel No. 1*, dengan menambahkan additives untuk mencegah terjadinya *filter clogging*. Penambahan No.1-B digunakan pada kasus *Ultra Low Sulfur Diesel fuel (ULSD)* yang terjadi *filter clogging*, yaitu pada kondisi di atas *cloud point*-nya setelah blending. Keadaan ini banyak terjadi pada penggunaan bahan yang *low aromatic* No. 1 diesel blends. Grade No. 1-B merupakan standar untuk mempertahankan parameter-parameter yang ada dan mengontrol komponen minor yang mengakibatkan *filter clogging* dengan ULSD. *Monoglycerides* dipilih sebagai parameter pengganti komponen minor dan dibatasi pada 1-B grade baru sebesar maksimum 0.40% massa, dan *the Cold Soak Filtration Time* dibatasi sebesar 200 detik.

Pada tahun 2015, ASTM D6571-15, dibakukan untuk spesifikasi standar bahan bakar biodiesel *blend stock (B100)* untuk *middle distillate*. Standar mutu ini mendasari penggunaan *biodiesel fuel blend stock, B100*, pada *Grade S15 and S500* sebagai komponen campuran dengan *middle distillate fuels*. Spesifikasi ini menjelaskan sifat bahan bakar diesel pada waktu dan tempat *delivery* dan diaplikasikan juga pada tempat produksi dan sistem distribusi.

Biodiesel berupa mono-alkil ester asam lemak rantai panjang dari minyak nabati dan lemak hewani. Analisis kimiawi terhadap biodiesel adalah titik nyala, metanol, air dan sedimen, viskositas kinematik, abu sulfat, stabilitas oksidasi, sulfur, korosi tembaga, bilangan cetane, titik

nyala, bilangan asam, residu karbon, gliserol total dan bebas, fosfor, temperature distilasi pada tekanan tereduksi, temperatur atmosferik, kandungan gabungan kalsium dan magnesium, dan kandungan gabungan sodium dan magnesium.

Ruang lingkup Biodiesel (B100) ada 4 grade dan digunakan sebagai komponen campuran pada bahan bakar *middle distillate* : (1) *Grade No. 1-B S15*, suatu biodiesel *blend stock* khusus yang digunakan dalam aplikasinya sebagai bahan bakar distilasi menengah yang peka dengan adanya gliserida yang dapat bereaksi parsial, termasuk aplikasi pada pengoperasian suhu rendah, dan juga membutuhkan bahan bakar campuran dengan komponen 15 ppm sulfur; (2) *Grade No. 1-B S500*, suatu biodiesel *blend stock* khusus yang digunakan dalam aplikasinya sebagai bahan bakar distilasi menengah dan peka dengan adanya gliserida yang bereaksi parsial, termasuk aplikasi pada pengoperasian suhu rendah, dan juga membutuhkan bahan bakar campuran dengan komponen 500 ppm sulfur (maksimum); (3) *Grade No. 2-B S15*, yaitu biodiesel *blend stock* yang digunakan dalam aplikasinya sebagai bahan bakar distilasi menengah yang memerlukan komponen campuran bahan bakar dengan 15 ppm sulfur (maksimum); (4) *Grade No. 2-B S500*, yaitu biodiesel *blend stock* yang digunakan dalam aplikasinya sebagai bahan bakar distilasi menengah yang memerlukan komponen campuran bahan bakar dengan 500 ppm sulfur (maksimum) (ASTM, 2019). Perkembangan standar mutu biodiesel ASTM D6571 dari tahun 2002 sampai dengan 2015, dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perkembangan Standar Mutu Biodiesel ASTM D6571 dari Tahun 2002 Sampai dengan 2015

Parameter	ASTM	Satuan	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM
			D6571-02	D6571-03a	D6571-06. (-06e1)	D6571-07a,b
Batas						
Kalsium dan Magnesium	EN 14538	Ppm			5 max.	5 max.
Flash Point (Titik Nyala)	D93	°C	93.0	130.0 min	130.0 min	93 min
Alcohol Control (one of the following must be met)						
1. Methanol Content	EN 14110					0.2 max
2. Flash Point	D93					130 min
Water & Sediment (Air & Sedimen)	D2709	% vol	0.050 max	0.050 max	0.050 max	0.050 max
Kinematic Viscosity, 40°C (Viskositas Kinematik)	D445	mm ² /sec	1.9- 6.0	1.9-6.0	1.9-6.0	1.9-6.0
Sulfated Ash (Abu tersulfatkan)	D874	% mass	0.020 max	0.020 max	0.020 max	0.020 max
Total Sulfur	D5453	% mass (ppm)	0.05 max			
				0.0015 max	0.0015 max	0.0015 max
				0.05 max	0.05 max	0.05 max
Copper Strip Corrosion (Korosi lempeng tembaga)	D130		No.3 max	No.3 max	No.3 max	No.3 max
Cetane Number (Angka setana)	D613		47 min	47 min	47 min	47 min
Cloud Point (Titik Kabut)	D2500	Degrees C	Report	Report	Report	Report
Carbon Residue 100% sample (Residu Karbon)	D4830	% mass	0.050 max	0.050 max	0.050 max	0.050 max

Buku Ini Dilarang Digandakan

Parameter	ASTM	Satuan	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM
			D6571-02	D6571-03a	D6571-06, (-06e1)	D6571-07a, b
Batas						
Acid Number (angka asam)	D664	mg KOH/gm	0.80 max	0.50 max	0.50 max	0.50 max
Free Glycerin (gliserol bebas)	D6584	% mass	0.020 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max
Total Glycerin (gliserol total)	D6584	% mass	0.240 Max	0.240 max	0.240 max	0.240 max
Phosphorus Content (Kandungan Fosfor)	D4951	% mass	0.001 max	0.001 max	0.001 max	0.001 max
Distillation, T90 AET (Temperatur Distilasi 90%, Atmospheric Equivalent Temperature)	D1160	°C	360 max	360 max	360 max	360 max
Sodium/ Potas-sium, combined (Natrium/ Kalium)	UCP391	Ppm			5 max	5 max (EN14538)
Oxidation Stability (Stabilitas oksidasi)	EN 14112	hours			3 min	3 min
Cold Soak Filterability	Annex to D6751	second				
Monoglyceride	D6584	%				
Diglyceride	D6584					
Triglyceride	D6584					
Kalsium dan Magnesium	EN 14538	Ppm	5 max	5 max	5 max	5 max
Flash Point (Titik Nyala)	D93	°C	93 min	93 min	93 min	93 min
Alcohol Control (one of the following must be met)						
1.Methanol Content	EN 14110		0.2 max	0.2 max	0.2 max	0.2 max
2. Flash Point	D93		130 min	130 min	130 min	130 min
Water & Sediment (Air & Sedimen)	D2709	% vol	0.050 max	0.050 max	0.050 max	0.050 max
Kinematic Viscosity, 40°C (Viskositas Kinematik)	D445	mm ² /sec	1.9-6.0	1.9-6.0	1.9-6.0	1.9-6.0

Parameter	ASTM	Satuan	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM
			D6571-02	D6571-03a	D6571-06, (-06e1)	D6571-07a,b
Batas						
Sulfated Ash (Abu tersulfatkan)	D874	% mass	0.020 max	0.020 max	0.020 max	0.020 max
Total Sulfur	D5453	% mass (ppm)	0.0015 max	0.0015 max	0.0015 max	0.0015 max
			0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Copper Strip Corrosion (Korosi lempeng tembaga)	D130		No.3 max	No.3 max	No.3 max	No.3 max
Cetane Number (Angka setana)	D613		47 min	47 min	47 min	47 min
Cloud Point (Titik Kabut)	D2500	Degrees C	Report	Report (D2500)	Report	Report
Carbon Residue 100% sample (Residu Karbon)	D4530	% mass	0.050 max	0.050 max	0.050 max	0.050 max
Acid Number (angka asam)	D664	mg KOH/gm	0.50 max	0.50 max	0.50 max	0.50 max
Free Glycerin (gliserol bebas)	D6584	% mass	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max
Total Glycerin (gliserol total)	D6584	% mass	0.240 max	0.240 max	0.240 max	0.240 max
Phosphorus Content (Kandungan Fosfor)	D4951	% mass	0.001 max	0.001 max	0.001 max	0.001 max
Distillation, T90 AET (Temperatur Distilasi 90%, Atmospheric Equivalent Temperature)	D1160	Degrees C	360 max	360 max	360 max	360 max
Sodium/Potassium, combined (Natrium/ Kalium)	UOP391	Ppm	5 max	5 max	5 max	5 max
Oxidation Stability (Stabilitas oksidasi)	EN 14112	Hours	3 min	3 min	3 min (EN 15751)	3 min
Cold Soak Filterability	Annex to D6751	Second	360 max	360 max	360 max	200 max (D7501)
Monoglyceride	D6584	%				
Diglyceride	D6584					
Triglyceride	D6584					
Kalsium dan Magnesium	EN 14538	ppm	5 max	5 max		

Parameter	ASTM	Satuan	ASTM D6571- 02	ASTM D6571- 03a	ASTM D6571-06. (-06e1)	ASTM D6571- 07a,b
			Batas			
Flash Point (Titik Nyala)	D93	°C	93 min	93 min		
Alcohol Control (one of the following must be met)						
1. Methanol Content	EN 14110		0.2 max	0.2 max		
2. Flash Point	D93		130 min	130 min		
Water & Sediment (Air&Sedimen)	D2709	% vol	0.050 max	0.050 max		
Kinematic Viscosity, 40°C (Viskositas Kinematik)	D445	mm ² /sec	1.9-6.0	1.9-6.0		
Sulfated Ash (Abu tersulfatkan)	D874	% mass	0.020 max	0.020 max		
Total Sulfur	D5453	% mass (ppm)	0.0015 max	0.0015 max		
			0.05 max	0.05 max		
Copper Strip Corrosion (Korosi lempeng tembaga)	D130		No.3 max	No.3 max		
Cetane Number (Angka setana)	D613		47 min	47 min		
Cloud Point (Titik Kabut)	D2500	Degrees C	Report	Report		
Carbon Residue 100% sample (Residu Karbon)	D4530	% mass	0.050 max	0.050 max		
Acid Number (angka asam)	D664	mg KOH/gm	0.50 max	0.50 max		
Free Glycerin (gliserol bebas)	D6584		0.02 max	0.02 max		
Total Glycerin (gliserol total)	D6584	% mass	0.240 max	0.240 max		
Phosphorus Content (Kandungan Fosfor)	D4951	% mass	0.001 max	0.001 max		
Distillation, T90 AET (Temperatur Distilasi 90%, Atmospheric)	D1160	Degrees C	360 max	360 max		

Parameter	ASTM	Satuan	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM
			D6571-02	D6571-03a	D6571-06, (-06e1)	D6571-07a,b
			Batas			
Equivalent Temperature)						
Sodium/Potasium, combined (Natrium/Kalium)	UOP391	ppm	5 max	5 max		
Oxidation Stability (Stabilitas oksidasi)	EN 14112	hours	3 min	3 min		
Cold Soak Filterability	Annex to D6751	Second	200	200 max		
			max. 1B			
			360			
			max. 2B			
Monoglyceride	D6584		0.4	0.4		
Diglyceride	D6584					
Triglyceride	D6584					

3.3.2 Standar Mutu Biodiesel di Eropa (EN14214)

Pembakuan standar mutu bahan bakar di Eropa diawali pada tahun 1998, yaitu dengan adanya akreditasi terhadap pengujian mutu bahan bakar. Perkembangan Standar Biodiesel I di Eropa tertera pada Tabel 3.6. Tahun 1990 Pabrik Biodiesel skala industri pertama kali dibangun, sehingga diperlukan segera adanya standar mutu produk biodiesel. Biodiesel murni (B100) umumnya digunakan untuk armada truk. Selanjutnya pada tahun 1997, perkembangan standar mutu diikuti oleh Biodiesel Standar II seperti yang tersaji pada Tabel 3.6, yang dikenal dengan E DIN 51606 dan digunakan sebagai standar biodiesel di Jerman. Pada saat itu, industri kendaraan di Jerman mendorong industri Biodiesel untuk dapat menjaga kualitas produksinya. Selanjutnya diikuti dengan pembakuan Biodiesel Standar III seperti yang tersaji pada Tabel 3.7, yaitu pada bulan Oktober 2004 Standar Eropa EN 14214 mulai berlaku. Standar ini beberapa kali direvisi dan sejak November 2012, tersebut standar EN 14214 versi aktualnya.

Tabel 3.6 Standar EN 14214:2010 - I

Parameter	Metode	Batasan	Satuan
Kandungan Ester	EN14103	Min 96.5	% (m/m)
Flash Point (Titik Menyala)	ENISO 2719	Min 101	°C
CFPP	EN116	Batasan Nasional	°C
Kandungan Air	ENISO 12937	500	mg/kg
Total Kontaminan	EN12662	24	mg/kg
Stabilitas Oksidasi	EN14112	6	J
Bilangan Asam	EN14104	0,5	mg KOH/g
ME Asam Lionoleat	EN14103	12,0	mg/kg

Tabel 3.7 Standar EN 14214:2010 - II

Parameter	Metode	Batasan	Satuan
Kandungan Free Glycerol	EN14015	Maks 0.02	% (m/m)
Kandungan Monogliserida	EN14015	Maks 0.80	% (m/m)
Kandungan Digliserida	EN14015	Maks 0.20	% (m/m)
Kandungan Trigliserida	EN14015	Maks 0.20	% (m/m)
Total Gliserol	EN14015	Maks 0.25	% (m/m)
Alkali Metal	EN14538	Maks 5	mg/kg
Earth Alkali Metal	EN14538	Maks 5	mg /kg

Standar EN 14214 baru :2012 -I, beberapa pengembangan standar dilakukan untuk perluasan ruang lingkup *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) sebagai *heating fuel*, penghilangan residu karbon, peningkatan stabilitas oksidasi menjadi min. 8.0 jam, penurunan kandungan monogliserida maks. 0,70 % (m/m) - (B100), perhitungan bilangan iod, menggunakan EN 16300, dan Implementasi revisi metode pengujian kandungan ester (EN 14103), gliserol & gliserida (EN 14105).

Perkembangan standar EN 14214 :2012 - II, merupakan persyaratan baru untuk FAME sebagai komponen campuran terhadap perilaku pada temperatur rendah yaitu menggunakan titik awan dan *Cold Filter Plugging Point* (CFPP), seperti terdapat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Persyaratan FAME Mengacu pada Titik Awan dan CFPP

Sifat	Satuan	Batasan						Metode
		Kelas A	Kelas B	Kelas C	Kelas D	Kelas E	Kelas F	
Titik Awan	°C, maks	16	13	9	5	0	-3	EN 23015
CFPP	°C, maks	13	10	5	0	-3	-10	EN 116

Kelas A hanya boleh dikombinasikan dengan kelas I (konten : monogliserida). Standar EN 14214 :2012 - III, merupakan persyaratan baru FAME sebagai komponen campuran dengan mengacu pada kandungan mono gliserida dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Persyaratan FAME Mengacu pada Kandungan Monogliserida Kelas I Dirancang untuk 100% Distilled FAME.

Sifat	Satuan	Batasan						Metode
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Kelas 5	Kelas 6	
monogliserida	%(m/m), maks	0,15	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	EN14105

Perkembangan Standar EN 14214 :2012 - IV, yaitu pada parameter sifat aliran biodiesel pada temperatur rendah, seperti *Cloud Point* (CP) atau titik awan, merupakan temperatur saat minyak menjadi berawan akibat terbentuknya kristal dan solidifikasi rantai karbon jenuh dan CFPP, atau titik penyumbatan saringan dingin, adalah temperatur terendah yang bahan bakar masih dapat mengalir melalui saringan tertentu. Pengujian aliran temperatur rendah ini digunakan untuk menentukan temperatur tertinggi, ketika bahan bakar tidak bisa melewati alat penyaring dalam waktu tertentu saat kondisi dingin di bawah standar. CFPP digunakan di Eropa. Penurunan titik awan (*cloud point*) merupakan cara untuk memperbaiki sifat aliran bahan bakar diesel pada temperatur rendah (Barabas, 2014). Tabel 3.10 menunjukkan adanya perkembangan standar CP dan CFPP, yang dibakukan untuk memperbaiki sifat aliran biodiesel pada suhu rendah.

Tabel 3.10 Perubahani Nilai CP dan CFPP ($^{\circ}\text{C}$; maks.)

Tanggal	kelas	Nilai CP/CFPP [$^{\circ}\text{C}$; maks.]
15/04 - 30/09	D	5 $^{\circ}\text{C}$ / 0 $^{\circ}\text{C}$
1/10 - 15/11	E	0 $^{\circ}\text{C}$ / -5 $^{\circ}\text{C}$
16/11 - 28/2	F	-3 $^{\circ}\text{C}$ / -10 $^{\circ}\text{C}$
1/3 - 14/4	E	0 $^{\circ}\text{C}$ / -5 $^{\circ}\text{C}$

Perkembangan Standar EN 14214 :2012 - V, yaitu diterbitkannya EN 14103, yang merupakan standar kandungan ester dan diaplikasikan pada minyak dengan kisaran karbon C_3 sampai dengan C_{14} . Standar internal baru ini juga digunakan pada C_{19} (lemak binatang). Standar EN 14214 baru berlaku sejak Februari 2013, dengan adanya perbaikan metode analisis dan selanjutnya telah diimplementasikan adalah EN 14103, EN 14105, EN 16300, FprEN 16294, EN ISO 13032.

3.3.3 Standar Mutu Biodiesel World Wide-Fuel Charter (WWFC)

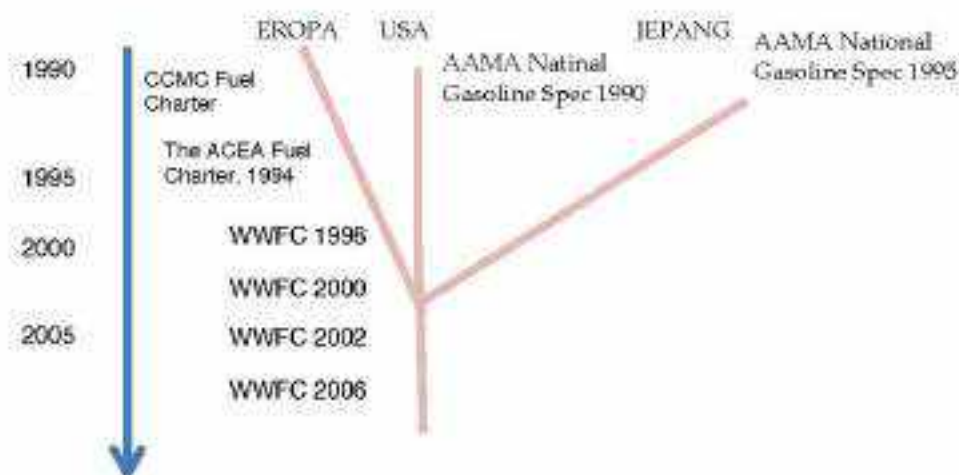
3.3.3.1 Kondisi Indonesia Saat Ini

Pemerintah Indonesia dalam hal ini PT Pertamina telah memasarkan biodiesel sebagai campuran solar dengan kandungan maksimum 10%. Biodiesel murni (B-100) sebelum dicampur ke dalam solar, harus terlebih dahulu memenuhi persyaratan tertentu. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah biodiesel B-100 harus memenuhi spesifikasi yang terdapat pada SNI 04-7182-2006 dan yang kedua biodiesel harus memenuhi spesifikasi yang dikeluarkan oleh WWFC pada tahun 2009. WWFC adalah suatu kesepakatan yang telah disetujui bersama oleh para pembuat mesin kendaraan dunia termasuk Jepang (JAMA), Eropa (ACEA) dan Amerika (EMA & Alliance). Sebagian besar kendaraan bermotor di Indonesia berasal dari ketiga negara tersebut, terutama dari Jepang. Memenuhi spesifikasi WWFC adalah keharusan demi keamanan mesin dan jaminan atau garansi mesin (Fajar, 2010).

3.3.3.2 Latar Belakang dan Sejarah WWFC

Kualitas bahan bakar yang baik akan berperan penting dalam menghasilkan emisi kendaraan yang rendah. Jepang, USA dan Eropa memiliki target yang sama, yaitu menggunakan bahan bakar yang bersih, sehingga akan memberikan emisi kendaraan yang rendah, lingkungan yang bersih; harmonisasi terhadap bahan bakar global; dan memenuhi standar yang dibutuhkan pengguna (Ogura, 2009).

Pada tahun 1990 Eropa mengeluarkan standar "CCMC Fuel Charter" sesuai dengan kualitas bahan bakar yang ada di pasaran. selanjutnya pada tahun 1994 diubah menjadi "The ACEA Fuel Charter". Pada periode yang sama AAMA di USA mempublikasikan "AAMA National Gasoline Specification" pada tahun 1994 and direvisi pada tahun 1996. Akhirnya industri otomotif Jepang, USA dan Eropa memutuskan bersama untuk mempublikasikan "*Worldwide Fuel Charter*" pada tahun 1998 dan revisi terakhir edisi 4 dilakukan pada tahun 2006 (Oguma, 2010). Gambar 3.1 berikut ini merupakan gambar perkembangan WWFC.



Gambar 3.1. Perkembangan WWFC (Takei, 2006)

3.3.3.3 Parameter-Parameter Penting

Menurut Fajar (2010), spesifikasi SNI 04-7182-2006 mudah dipenuhi, selama proses produksi biodiesel benar, tetapi tidak mudah memenuhi persyaratan WWFC 2009. Selain persyaratannya lebih ketat dibandingkan standar nasional SNI ada beberapa parameter yang belum ada spesifikasinya pada SNI yaitu stabilitas oksidasi. Parameter kunci kualitas biodiesel ditunjukkan pada Tabel 3.11.

Parameter stabilitas oksidasi penting dibandingkan dengan parameter lain, karena biodiesel dengan stabilitas oksidasi rendah akan membahayakan mesin. Oksidasi biodiesel dapat terjadi karena adanya udara dan dipercepat oleh panas, sinar dan logam. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang akan menimbulkan korosi pada komponen alat seperti saluran dan tangki bahan bakar. Oksidasi biodiesel juga menghasilkan padatan (polimer) yang akan menimbulkan sumbatan pada nozzle dan filter bahan bakar. Kondisi lingkungan di Indonesia dengan suhu lingkungan dan kelembaban yang tinggi memungkinkan proses oksidasi terjadi lebih cepat.

Tantangan yang terdapat pada spesifikasi WWFC 2009 adalah stabilitas oksidasi yang berlaku untuk biodiesel B-100 minimal 10 jam. Padahal stabilitas oksidasi yang terdapat pada standar Amerika ASTM D 6751-07b adalah minimal 3 jam dan standar Eropa EN-14214 telah menetapkan minimal 6 jam.

Sebagaimana diketahui bahwa, parameter kunci yang menentukan kualitas biodiesel adalah stabilitas oksidasi, CFPP (Cold Filter Plugging Point), viskositas, densitas, bilangan setana, titik kabut dan lain-lain. Diantara parameter kunci tersebut stabilitas oksidasi dan CFPP merupakan parameter yang tergantung pada jenis bahan baku, khususnya komposisi asam lemak. Parameter yang lain, sangat tergantung pada proses pembuatan dan pemurnian produk, yang pada umumnya dapat dengan mudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam SNI maupun standar internasional.

Tabel 3.11. Parameter Kunci dari Kualitas Biodiesel (Fajar, 2010)

Parameter Kunci	Batas Nilai	Spesifikasi
Stabilitas Oksidasi	Min. 10 jam	Min 96,5
CFPP	Tidak ada	Min 101
Viskositas 40 °C	2,3-5 cSt	Batasan Nasional
Densitas 40 °C	850-890	500
Bilangan Setana	Min. 51	
Titik Kabut	Maks. 18 °C	

3.3.3.4 Perkembangan Standar Mutu WWCF

Spesifikasi Biodiesel B100 berdasarkan WWCF yang dipublikasi pada bulan Maret tahun 2009 adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 3.12 Spesifikasi B100 dari WWFC (WWFC, 2009)

Parameter	Nilai	Satuan	Metode Test
Ester	9,6 min	% m/m	EN 14103 ABNT NBR 15342
<i>Linolenic Acid Methyl Ester</i>	12,0 max	% m/m	EN 14103
<i>Polyunsaturated Acid Methyl Ester</i> (≥ 4 ikatan rangkap)	1 max	% m/m	prEN 15779
Stabilitas oksidasi: waktu induksi	10 min	jam	prEN 15751 atau EN 14112
Bilangan iod	130 max	g I ₂ /100 g	EN 14111
Bilangan asam	0,5 max	mg KOH/g	ISO 6618 ASTM D664, D974 JIS K2501 ABNT NBR 14448
Metanol	0,2 max	% m/m	EN 14110 JIS K2536 ABNT NBR 15343
Gliserida			EN 14105
Mono-gliserida	0,8 max	% m/m	EN 14105 ASTM D6584 ABNT NBR 15342

Parameter	Nilai	Satuan	Metode Test
Di-gliserida	0,2 max	% m/m	EN 14105 ASTM D6584 ABNT NBR 15342
Tri-gliserida	0,2 max	% m/m	EN 14105 ASTM D6584 ABNT NBR 15342
Gliserin (Gliserol)			
Gliserin bebas	0,02 max	% m/m	EN 14105/14106 ASTM D6584 ABNT NBR 15341
Total gliserin	0,25 max	% m/m	EN 14105 ASTM D6584 ABNT NBR 15344
Densitas	report	g/ml	EN ISO 3675 ASTM D4052 JIS K2249 EN ISO 12185 ABNT NBR 7148/14065
Viskositas kinematis @40 °C	2 - 5	mm ² /s	EN ISO 3104 ASTM D445 JIS K2283

3.3.3.5 Dasar Pengembangan Kualitas

Pengembangan kualitas biodiesel didasarkan pada beberapa hal berikut antara lain: keluarnya aturan mengenai emisi yang ketat, seperti Euro 6, US 2007; Berkembangnya teknologi kendaraan baru; Peningkatan teknologi kendaraan bermotor; Mengacu pada kajian dan metode pengujian terbaru, dan perilaku pasar.

3.3.3.6 Peningkatan Kualitas Biodiesel

Sehubungan dengan adanya perkembangan teknologi di bidang otomotif, maka untuk memenuhi kebutuhan pasar, dilakukan peningkatan standar kualitas biodiesel melalui klasifikasi sebagai tertera pada Gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2. Peningkatan kualitas biodiesel (Takil, 2006 dan Ogura, 2009)

3.3.3.7 Perubahan Spesifikasi WWFC

Dengan berjalannya waktu dan seiring dengan adanya modifikasi teknologi, maka standar WWFC mengalami beberapa perubahan dibandingkan dengan standar tahun 2009 yang meliputi :

- Penyesuaian spesifikasi sesuai dengan kategori, yaitu sulfur dan angka setana
- Mendefinisikan kembali spesifikasi angka setana
- Penyesuaian spesifikasi tertentu
- Penambahan spesifikasi baru dan metode pengujian

Perubahan spesifikasi biodiesel sesuai dengan kategorinya dapat dilihat pada Tabel 3.13 berikut ini :

Tabel 3.13 Perubahan Spesifikasi Biodiesel (Takei 2006)

Parameter 1	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3	Kategori 4
Standar Emisi	No atau First level (Tier 0, Euro 1)	Tier 1, Euro 2 atau 3	US/ Cal LEV or ULEV, Euro 3, [P 2005	Tier 2, Cal LEV ii, Euro 4, HD (us 2007/10, Non road, Euro 5)
Sulfur (ppm)	2000~3000 transisi	300	50	10
Angka Setana (CN)	48	51	53	55
Cetane Improvers (CI)	45	48	50	52
Kadar Abu (% massa)	0,01	-0,01	0,01	0,00
Particulate content 2 (ISO 4406)		18/16/13	18/16/13	18/16/13
Metals (D5185)		Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi
Aromatic (Total/PAH) % MASSA		25/5	20/3	15/2
Oxid Stab 2 (EN 14112)	TBD	TBD	TBD	TBD



STUDI EMPIRIS KARAKTERISTIK BIODIESEL

4.1 Karakteristik Biodiesel

Pada SNI 7182 tahun 2015 tentang biodiesel ada 20 parameter dari biodiesel, parameter-parameter tersebut terdiri dari parameter yang dipengaruhi oleh proses pembuatan, parameter yang dipengaruhi oleh kadar atau komposisi FAME, serta parameter yang dipengaruhi oleh keduanya (Dirjen EBTKE, 2014). Biodiesel didefinisikan sebagai monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Krawczyk, 1996). Pada saat ini berbagai jenis minyak nabati telah digunakan sebagai bahan baku (mentah) pembuatan biodiesel. Di Amerika Serikat, biodiesel dihasilkan dari minyak kedelai (*soybean*), negara-negara di Eropa menggunakan minyak kanola (*rapeseed*) dan minyak bunga matahari (*sunflower*), sedangkan di Asia Tenggara terutama Malaysia dan Indonesia menggunakan minyak kelapa sawit (*palm oil*) sebagai sumber bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak nabati mengandung 90-98% (m/m basis) trigliserida sebagai komponen utamanya dengan sejumlah kecil mono- dan digliserida. Trigliserida adalah ester dari tiga asam lemak (*fatty acid*) rantai panjang (8 sampai 22 atom carbon) yang terikat pada satu gugus gliserol. Menurut Srivastava dan Prasad (2000), terdapat lima jenis asam lemak yang umumnya terkandung dalam minyak nabati yaitu asam palmitat (C16:0), asam stearat (C18:0), asam oleat (C18:1), asam linoleat

(C18:2) dan asam linolenat (C18:3). Asam lemak jenis lainnya ada dalam jumlah yang sangat kecil. Dari berbagai jenis minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku ternyata menghasilkan biodiesel yang berbeda karakteristik (*properties*) terutama densitas, viskositas, angka setan (*cetane number*), nilai kalor (*heating value*), titik kabut (*cloud point*), angka iod dan stabilitas oksidasi. Perbedaan beberapa karakteristik biodiesel seperti tersebut di atas disebabkan terutama karena perbedaan komposisi asam lemak yang terkandung dalam minyak asalnya. Namun demikian ada beberapa parameter kualitas biodiesel yang nilainya tidak bergantung pada komposisi asam lemak dari minyak atau lemak asal melainkan dipengaruhi oleh keberhasilan proses produksinya baik pada saat penyiapan (*pre-treatment*) bahan baku, proses reaksi kimia (*chemical reaction process*) maupun proses pemurnian (*purification process*). Tabel 4.1 menunjukkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap parameter uji kualitas biodiesel.

Tabel 4.1 Faktor yang Mempengaruhi Parameter Uji Kualitas Biodiesel

Parameter	Faktor yang Berpengaruh	Uji Singkat
Angka setana, titik kabut, titik nyala, bilangan iod, densitas	Tergantung pada bahan baku (produsen)	Hanya 1x ujian saja untuk bahan baku yang sama
Viskositas	Tergantung jenis bahan baku dan kesuksesan proses/reaksi	Viskositas
Gliserol total, temperature distilasi 90%, karbon residu	Tergantung pada konversi proses	Gliserol total
Bilangan asam, fosfor, belerang, korosi lempeng tembaga	Tergantung kandungan asam organik dan anorganik	Bilangan asam
Kadar air dan sedimen	Tergantung keberhasilan proses "drying" dan penyaringan	Kadar air dan sedimen
Gliserol bebas, fosfor, belerang, abu tersulfatkan	Tergantung proses purifikasi (pencucian)	Gliserol bebas
Bilangan ester	Hasil perhitungan dari	Diwakilkan pada

Parameter	Faktor yang Berpengaruh	Uji Singkat
	bilangan asam, gliserol total, dan bilangan penyabunan	bilangan asam dan gliserol total
Stabilitas oksidasi	Tergantung komposisi asam lemak jenuh/tak jenuh yang terkandung dalam minyak dan "umur" biodiesel	Stabilitas oksidasi

Seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1, beberapa parameter kualitas biodiesel dipengaruhi oleh jenis minyak/lemak bahan bakunya seperti Cetane Number (CN), Cloud Point (CP), Flash Point (FP), bilangan iod/Iodine Value (IV) dan densitas (DN). Nilai-nilai ini dipengaruhi oleh komposisi asam lemak minyak yang menghasilkan FAME dengan komposisi berbeda seperti metil miristat, palmitat, metil stearat, metil oleate, metil linoleat, metil linolenat, dsb.

Konversi minyak nabati menjadi biodiesel (FAME) ditujukan terutama untuk menurunkan viskositas mendekati nilai viskositas bahan bakar solar (petrodiesel) dan meningkatkan *cetane number*. Perbedaan sifat sifat minyak nabati dibandingkan produk biodieselnnya (di antaranya minyak dan biodiesel sawit) disajikan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Karakteristik Minyak Nabati Sebagai Bahan Baku Biodiesel
(Stevaramakrisbatan dan Ravikanar, 2012)

Minyak	Viskositas kinematis (mm ² /s)	Nilai kalor (MJ/kg)	Titik nyala (°C)	Densitas (kg/L)	Angka setana
Karanja	27,84	34,0	205	0,912	52,0
Babassu	30,30	37,5	150	0,946	38,0
Kedelai	32,60	39,6	254	0,914	37,9
Bunga matahari	33,90	39,6	274	0,916	37,1
Rapeseed	37,00	39,7	246	0,912	37,6

Minyak	Viskositas kinematis (mm ² /s)	Nilai kalor (MJ/kg)	Titik nyala (°C)	Densitas (kg/L)	Angka setana
Kacang tanah	39,60	39,8	271	0,903	41,8
Sawit	39,60	39,5	267	0,918	42,0
Jarak	52,76	38,2	210	0,933	38,0

Tabel 4.3 Karakteristik Biodiesel Dari Beberapa Minyak Nabati
(Sivaramakrishnan dan Ravikanar, 2012)

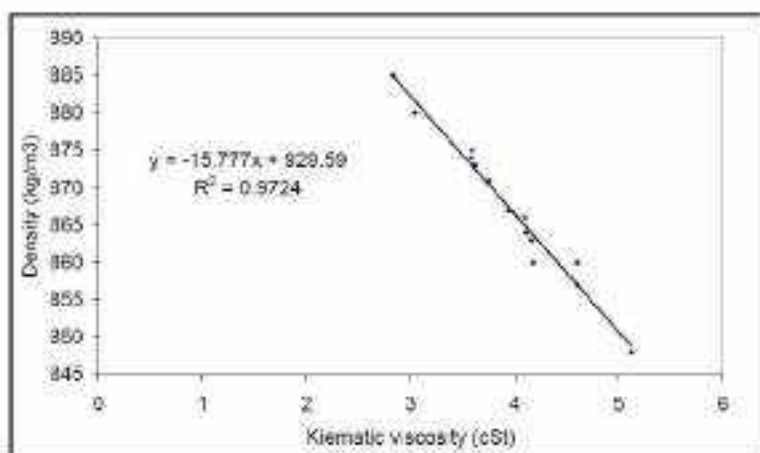
Biodiesel	Viskositas kinematis (mm ² /s)	Nilai kalor (MJ/kg)	Titik nyala (°C)	Densitas (kg/L)	Angka setana
Babassu	3,6	41,15	127	0,875	63
Rapeseed	4,2	41,55	80	0,882	54
Kedelai	4,5	41,28	178	0,885	45
Bunga matahari	4,6	41,33	96	0,860	49
Kacang tanah	4,9	41,71	176	0,883	54
Sawit	5,7	41,71	183	0,880	62

Berdasarkan Tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa nilai viskositas, *cetane number* dan *flash point* minyak nabati dan produk biodieselnnya memiliki nilai yang perbedaannya cukup signifikan, sedangkan nilai kalor (*heating value*) dan densitas perbedaannya relatif kecil. Hal ini berarti bahwa tingkat keberhasilan/konversi reaksi minyak nabati menjadi biodiesel dapat diamati dari perubahan nilai viskositas, *cetane number* dan *flash point*.

Terdapat sejumlah korelasi untuk memperkirakan sifat-sifat fisika dan kimia bahan bakar seperti berbagai parameter penting dari biodiesel dalam Tabel 4.3. Beberapa korelasi antar parameter dapat dijelaskan sebagai berikut.

4.1.1 Densitas dan Viskositas Kinematis

Densitas adalah massa zat yang menempati satuan volume suhu tertentu. Densitas biodiesel sedikit lebih tinggi dari petrodiesel. Semakin tinggi viskositas, densitas biodiesel semakin besar. Korelasi antara viskositas kinematis (VK) dan densitas (DN) biodiesel diberikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Korelasi antara viskositas kinematik dan densitas biodiesel (Lakshmi Narayana Rao, *dkk* 2010).

Penelitian yang dilakukan (Allen, et al., 1999) model untuk penentuan viskositas seperti pada persamaan (4.1)

$$\ln \eta_{\text{camp}} = \sum_{i=1}^n x_i (\ln \eta_i) \quad (4.1)$$

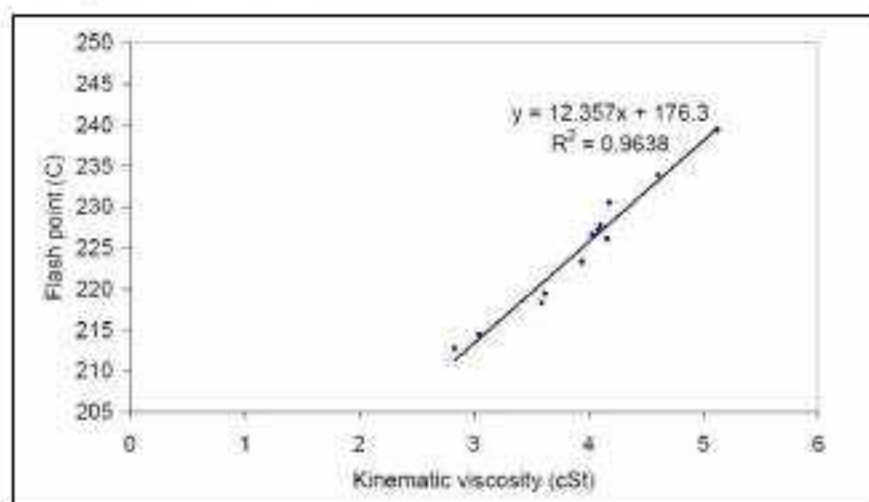
Dimana η_{camp} adalah viskositas campuran, x_i adalah fraksi massa komponen asam lemak dan η_i adalah viskositas komponen asam lemak. Penelitian yang dilakukan (Clement, 1988) model untuk penentuan densitas seperti pada persamaan (2.5).

$$\rho_{\text{camp}} = \sum_{i=1}^n x_i \rho_i \quad (4.2)$$

Dimana ρ_{camp} adalah densitas campuran, x_i adalah fraksi massa komponen asam lemak, dan ρ_i adalah densitas komponen asam lemak.

4.1.2 Flash point dan viskositas kinematis

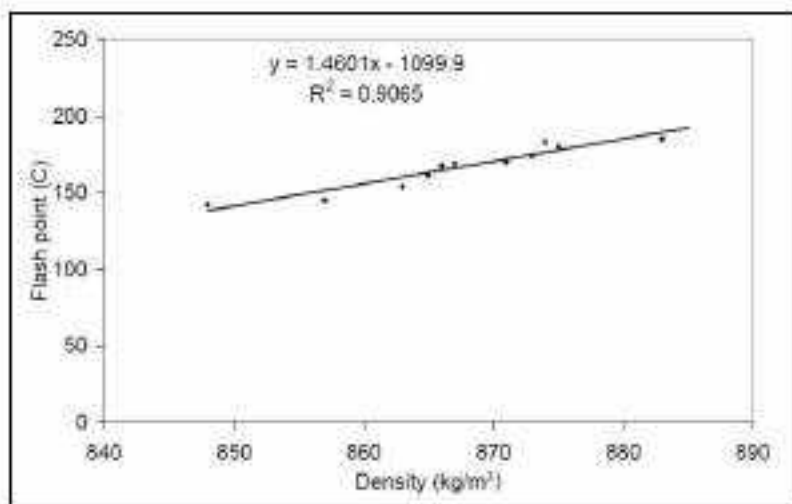
Flash point (FP) biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan diesel sehingga biodiesel lebih aman dalam penanganan dan penyimpanan. Flash point biodiesel juga dipengaruhi oleh kandungan alkohol seperti metanol. FP biodiesel akan menurun drastis jika metanol yang digunakan dalam produksi biodiesel tidak benar-benar dipisahkan. Selain itu, metanol berlebih juga dapat mempengaruhi segel mesin dan elastomer dan menimbulkan korosi komponen logam. Korelasi antara FP dan VK diberikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Korelasi antara viskositas kinematis dan FP biodiesel (Lakshmi Narayana Rao, dkk 2010).

4.1.3 Densitas dan Flash Point

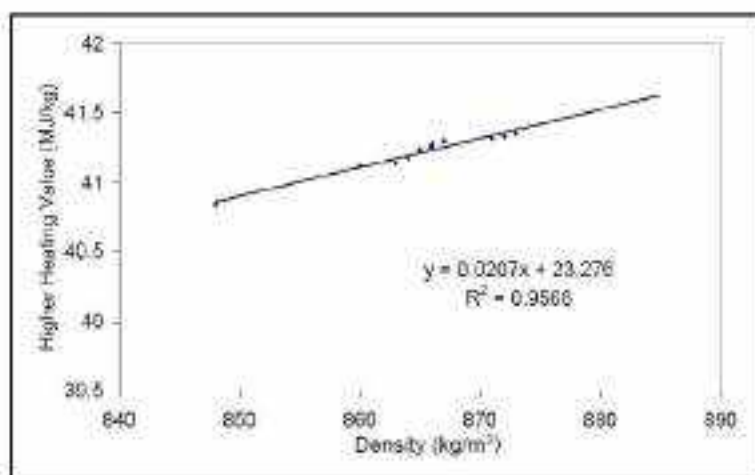
Flash point biodiesel makin tinggi dengan menaikkan nilai densitasnya. Korelasi antara FP dan DN biodiesel dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Korelasi antara densitas dan flash point biodiesel (Lakshmi Narayana Rao, dkk 2010).

4.1.4 Densitas dan Nilai Kalor

Nilai kalor adalah sifat penting yang mendefinisikan kandungan energi dalam biodiesel, merupakan ukuran efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik. Korelasi antara densitas dan nilai kalor biodiesel disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Korelasi antara densitas dan nilai kalor biodiesel

4.1.5 Angka Setana, Viskositas, Densitas dan Nilai Kalor

Kualitas penyalaan bahan bakar dapat dilihat melalui cetane number-nya. Sebuah bahan bakar dengan kualitas penyalaan yang baik memiliki angka setana tinggi, di mana waktu penyalaan/periode antara awal injeksi bahan bakar dan timbulnya *auto ignition* singkat. Angka setana biodiesel bervariasi sesuai dengan kandungan asam lemak minyak nabati sebagai bahan bakunya dan umumnya lebih tinggi dibandingkan solar karena kandungan oksigennya yang lebih tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi CN biodiesel diantaranya adalah jumlah atom karbon dari asam lemak minyak aslinya, jumlah ikatan rangkap dan kadar ester biodiesel/keberhasilan proses konversi minyak menjadi ester (Sivaramakrishnan dan Ravikumar, 2012).

Korelasi antara CN dengan parameter uji biodiesel lainnya dinyatakan oleh persamaan:

$$CN = K5 + K4(VK) + K3(HV) + K2(FP) + K1(DN)$$

Dimana K1, K2, K3, K4, K5 adalah konstanta, VK adalah viskositas kinematis (mm^2/sec), HV adalah nilai kalor (MJ/kg), FP adalah *flash point* ($^{\circ}\text{C}$), DN adalah densitas (kg/L). Perkiraan nilai CN dengan persamaan tersebut memiliki akurasi sekitar 90%.

4.1.6 Gliserol Total, Viskositas dan Kadar Ester

Gliserol Total merupakan gabungan dari gliserol bebas (GL) dan gliserol terikat yang terdiri dari Monogliserida (MG), Digliserida (DG) dan Trigliserida (TG). Tingginya kadar gliserol terikat menunjukkan proses konversi yang belum sempurna. Gliserol bebas merupakan produk samping yang bisa menjadi impuritas biodiesel bila proses pemisahan/pemurnian produk tidak sempurna. Kadar metil ester sesuai SNI, nilainya dihitung menggunakan persamaan empiris yang bergantung pada besarnya angka asam, bilangan penyabunan dan gliserol total:

$$\text{Kadar ester (\% b)} = \frac{100(A_s - A_a - 18,27G_{\text{total}})}{A_s}$$

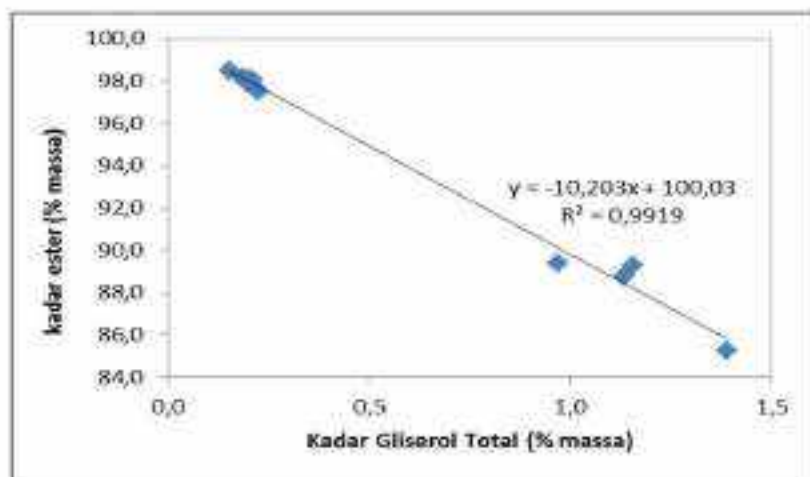
Keterangan :

A_s : Angka penyabunan (mg/g)

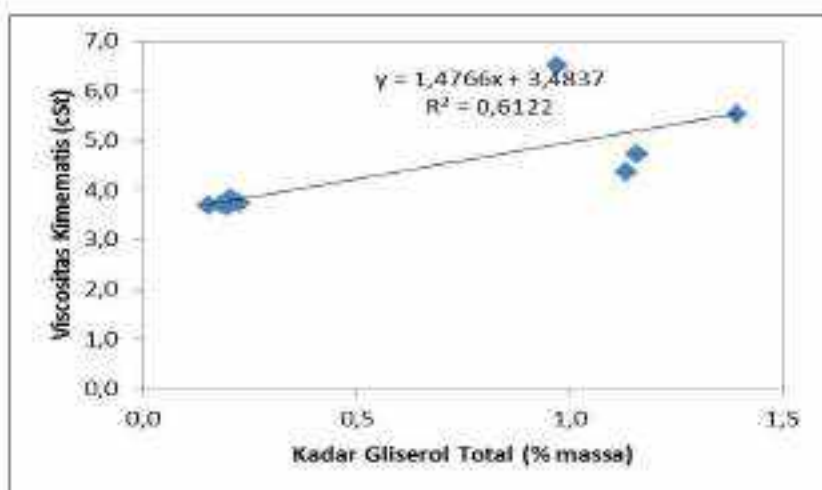
A_a : Angka asam (mg/g)

G_{total} : Gliserol total dalam biodiesel (%-b)

Semakin tinggi angka asam, angka gliserol bebas dan gliserol total maka kadar metil ester dalam biodiesel makin kecil. Lebih lanjut, parameter yang dipengaruhi oleh rendahnya kadar metil ester (tingginya kadar gliserol total) adalah viskositas. Korelasi antara kadar gliserol total dengan kadar metil ester diberikan pada Gambar 4.5, sedangkan korelasi antara kadar gliserol total dengan viskositas disajikan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Korelasi antara gliserol total dengan kadar ester biodiesel (Maharani dkk, 2010)



Gambar 4.6 Korelasi antara gliserol total dengan viskositas kinematis (Maharani dkk, 2010)

Selain korelasi-korelasi tersebut di atas, beberapa parameter perlu diperhatikan terkait korelasinya dengan komposisi asam lemak bahan bakunya.

4.1.7 Cloud Point dan Pour Point

Cloud point adalah temperatur pada saat bahan bakar mulai tampak "berawan" (*cloudy*). Hal ini timbul karena munculnya kristal-kristal (padatan) di dalam bahan bakar. Meski bahan bakar masih bisa mengalir pada titik ini, keberadaan kristal di dalam bahan bakar bisa mempengaruhi kelancaran aliran bahan bakar di dalam filter, pompa, dan injektor. Sedangkan *pour point* adalah temperatur terendah yang masih memungkinkan terjadinya aliran bahan bakar; di bawah *pour point* bahan bakar tidak lagi bisa mengalir karena terbentuknya kristal/gel yang menyumbat aliran bahan bakar. Dilihat dari definisinya, *cloud point* terjadi pada temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan *pour point*.

Pada umumnya permasalahan pada aliran bahan bakar terjadi pada temperatur diantara *cloud* dan *pour point*; pada saat keberadaan kristal mulai mengganggu proses filtrasi bahan bakar. Oleh karena itu, digunakan metode pengukuran yang lain untuk mengukur performansi bahan bakar

pada temperatur rendah, yakni *Cold Filter Plugging Point* (CFPP) di negara-negara Eropa (standard EN 116) dan *Low-Temperature Flow Test* (LTFT) di Amerika Utara (standard ASTM D4539) (Knothe, 2005).

Cloud dan *pour point* biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Hal ini bisa menimbulkan masalah pada penggunaan biodiesel, terutama di negara-negara yang mengalami musim dingin. Untuk mengatasi hal ini, biasanya ditambahkan aditif tertentu pada biodiesel untuk mencegah aglomerasi kristal-kristal yang terbentuk dalam biodiesel pada temperatur rendah. Selain menggunakan aditif, bisa juga dilakukan pencampuran antara biodiesel dan solar. Pencampuran (*blending*) antara biodiesel dan solar terbukti dapat menurunkan *cloud* dan *pour point* bahan bakar (Environment Canada, 2006).

Teknik lain yang bisa digunakan untuk menurunkan *cloud* dan *pour point* bahan bakar adalah dengan melakukan "*winterization*" (Knothe, 2005). Pada metode ini, dilakukan pendinginan pada bahan bakar hingga terbentuk kristal-kristal yang selanjutnya disaring dan dipisahkan dari bahan bakar. Proses kristalisasi parsial ini terjadi karena asam lemak tak jenuh memiliki titik beku yang lebih rendah dibandingkan dengan asam lemak jenuh. Maka proses *winterization* sejatinya merupakan proses pengurangan asam lemak jenuh pada biodiesel. Di sisi lain, asam lemak jenuh berkaitan dengan angka cetane. Maka proses *winterization* bisa menurunkan angka cetane bahan bakar. Namun demikian, karakteristik biodiesel pada temperatur rendah ini tidak terlalu menjadi masalah untuk negara dengan temperatur tinggi sepanjang tahun, seperti Indonesia.

Model untuk penentuan titik kabut (*Cloud Point*, CP) pada penelitian ini menggunakan usulan dari (Sarin, et al., 2009), dimana titik kabut biodiesel linier mengikuti persamaan (4.3).

$$CP = A \times UFAME + B \quad (4.3)$$

Dimana CP adalah titik kabut biodiesel campuran kelapa, *Jatropha* dan *Pongamia* (°C) dan UFAME adalah kandungan total senyawa FAME *unsaturated* (% massa). Sedangkan A dan B adalah konstanta hasil regresi linier dan nilainya masing-masing adalah -0.576 dan 48.255. Model

penentuan titik kabut pada persamaan ini memiliki koefisien regresi $R^2 = 0.973$ dengan nilai ARD sekitar 1.16%. (Lopes et al., 2008) juga mengusulkan metode alternatif untuk menentukan CP berdasarkan kandungan FAME.

4.1.8 Angka Iodine

Angka iodine pada biodiesel menunjukkan tingkat ketidakjenuhan senyawa penyusun biodiesel. Di satu sisi, keberadaan senyawa lemak tak jenuh meningkatkan performansi biodiesel pada temperatur rendah, karena senyawa ini memiliki titik leleh (*melting point*) yang lebih rendah (Knothe, 2005) sehingga berkorelasi pada *cloud* dan *pour point* yang juga rendah. Namun di sisi lain, banyaknya senyawa lemak tak jenuh di dalam biodiesel memudahkan senyawa tersebut bereaksi dengan oksigen di atmosfer dan bisa terpolimerisasi. Oleh karena itu, terdapat batasan maksimal harga angka iodine yang diperbolehkan untuk biodiesel, yakni 115 berdasar standard Eropa (EN 14214) dan SNI 7182-2012.

Selain itu, konsentrasi asam linolenat dan asam yang memiliki 4 ikatan ganda masing-masing tidak boleh melebihi 12 dan 1% (Azzam dkk., 2005). Sebuah penelitian yang dilakukan di Mercedes-Benz (Environment Canada, 2006) menunjukkan bahwa biodiesel dengan angka iodine lebih dari 115 tidak bisa digunakan pada kendaraan diesel karena menyebabkan deposit karbon yang berlebihan. Meski demikian, terdapat studi lain yang menghasilkan kesimpulan bahwa angka iodine tidak berkorelasi secara signifikan terhadap kebersihan dan pembentukan deposit di dalam ruang bakar (Environment Canada, 2006).

Penelitian yang dilakukan oleh Chen, et al., (2011), model untuk penentuan angka iod seperti pada persamaan (4.4).

$$IN = 3.96 + 78.15MO + 201.06M \quad (4.4)$$

Dimana IN adalah angka iod, MO adalah fraksi massa metil oleate, dan ML adalah fraksi massa metil linoleate.

4.1.9 Stabilitas Oksidasi (SO)

Stabilitas oksidasi biodiesel telah menjadi subyek penelitian yang cukup besar. Masalah ini mempengaruhi biodiesel terutama selama masa penyimpanannya diperpanjang. Umumnya, faktor seperti adanya udara, suhu tinggi atau adanya logam memudahkan oksidasi. Studi yang dilakukan dengan metode indeks stabilitas minyak otomatis memastikan efek katalis logam pada oksidasi dengan tembaga yang menunjukkan efek katalis yang paling kuat. Namun, pengaruh struktur senyawa ester lemak bahkan lebih besar lagi. Hal ini penting karena kebanyakan bahan bakar biodiesel mengandung sejumlah besar ester asam oleat, linoleat atau linolenat, yang mempengaruhi stabilitas oksidatif bahan bakar. Spesies yang terbentuk selama proses oksidasi menyebabkan bahan bakar pada akhirnya memburuk (Edith, et al., 2012).

Ada beberapa model yang dapat digunakan untuk menentukan stabilitas oksidasi berdasarkan data komposisi FAME biodiesel. Pertama adalah model yang diusulkan oleh (Park, et al., 2008) dimana stabilitas oksidasi berkorelasi secara tidak linier terhadap kandungan FAME *polyunsaturated* (methyl linoleat dan linolenat). Jika data komposisi methyl linoleat dan linolenat diketahui (% massa) maka stabilitas oksidasi dapat ditentukan. Model selanjutnya adalah diusulkan oleh (Sarin, et al., 2009) dimana stabilitas oksidasi berkorelasi secara linier dengan kandungan methyl palmitat (% massa) atau dengan kandungan FAME *unsaturated* total (% massa). Pada penelitian tersebut disusun suatu model persamaan stabilitas oksidasi dengan teknik regresi non linier, berdasarkan data pengukuran stabilitas oksidasi untuk biodiesel *Jatropha* (Chen, et al., 2011) dan model logaritmik yang telah dikembangkan sebelumnya oleh (Park, et al., 2008). Penyusunan model untuk stabilitas oksidasi seperti ditunjukkan pada persamaan (4.5)

$$\ln(SO) = -1,104 \times \ln(X) + 238 \quad (4.5)$$

Dimana, SO adalah stabilitas oksidasi atau periode induksi (jam) dan X adalah kandungan total methyl linoleat dan linolenat dalam biodiesel campuran (kelapa sawit, *rapeseed*, dan kedelai) (% berat). Persamaan ini

memiliki nilai koefisien regresi (R^2) sebesar 0.991 dan rata-rata perbedaan relatif terhadap hasil pengukuran ($ARD = Average Relative Difference$) sebesar 3.97%. Korelasi antara stabilitas oksidasi dengan kandungan FAME juga diusulkan oleh Sarin dkk. (2009). Korelasi antara stabilitas oksidasi dengan kandungan FAME methyl palmitat menghasilkan R^2 sebesar 0.994 dan deviasi standar (σ_{est}) sebesar 0.149 dan korelasi antara stabilitas oksidasi dengan kandungan FAME tak jenuh total menghasilkan R^2 sebesar 0.998 dan deviasi standar (σ_{est}) sebesar 0.091.

4.2 Komposisi Asam Lemak dari Minyak dan Lemak

Asam lemak dibedakan berdasarkan panjang rantai karbon dan jumlah ikatan rangkapnya. Asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap disebut dengan asam lemak jenuh (*saturated fatty acids*) misalnya asam palmitat dan stearat sedangkan asam lemak yang mempunyai ikatan rangkap disebut asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*) seperti asam oleat memiliki 1 buah ikatan rangkap dua, asam linoleat memiliki 2 buah ikatan rangkap dua. Struktur kimia dan nama dari berbagai asam lemak dapat dilihat pada Tabel 4.4, sedangkan komposisi rata-rata asam lemak dari beberapa minyak nabati dan lemak yang telah digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Struktur kimia dan nama berbagai asam lemak (Kalace & Samkoov, 2010; FAO, 2010)

Jenis asam lemak	Nama sistematis	Struktur	Rumus molekul
Kaprilat	Oktanoat	8:0	$C_8H_{16}O_2$
Kaprat	Dekanoat	10:0	$C_{10}H_{20}O_2$
Laurat	Dodekanoat	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Miristat	Tetradekanoat	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmitat	Hexadekanoat	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearat	Oktadekanoat	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Arachidat	Eikosanat	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behenat	Dokosanoat	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Lignoserat	Tetrakosanoat	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$

Jenis asam lemak	Nama sistematis	Struktur	Rumus molekul
Oleat	<i>cis</i> -9-Oktadelenoat	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Linoleat	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Oktadekadienat	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂
Linolenat	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Oktadekatrienat	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂
Erusat	<i>cis</i> -13-Dokosenoat	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂

Tabel 4.5. Komposisi rata-rata asam lemak pada bahan baku berbeda (Banghoye & Hansen, 2008)

Jenis asam lemak	SME	SUNME	PME	TME	CME	PEME	LME	RME
Laurat	0	0	0,29	0,08	0,02	0	0,07	0
Miristat	0,06	0,01	0,87	1,3	0,32	0	1	0,02
Palmitat	10,64	6,48	43,08	23,88	22,05	11,1	26,03	4,06
Stearat	3,88	4,25	4,31	17,88	2,17	4,22	15	1,2
Palmitoleat	0,14	0	0,12	0	0,13	0	0	0,04
Oleat	32,38	18,97	40,55	45,25	16,13	47,23	45,43	63,12
Linoleat	46,36	69,07	9,64	2,85	55,72	32,14	9,87	21,28
Linolenat	5,53	0,26	0,32	0,53	0,25	0,68	0,5	8,63

Keterangan:

SME = Soybean Methyl Ester

SUNME = Sunflower Methyl Ester

PME = Peanut Methyl Ester

TME = Tallow Methyl Ester

CME = Cottonseed Methyl Ester

PEME = Palm Oil Methyl Ester

LME = Lard Methyl Ester

RME = Rapeseed Methyl Ester

4.3 Studi Empiris Parameter Biodiesel Hasil Riset

Suatu persamaan untuk menjelaskan hubungan antara komposisi FAME (sebagai *independent variable*) dan parameter-parameter penting biodiesel (sebagai *dependent variable*) disusun dari data sekunder mempergunakan aplikasi Microsoft Excel. Berdasarkan hasil pengumpulan data dari jurnal terkait diperoleh komposisi FAME dari lima jenis biodiesel dan nilai beberapa parameter yaitu titik kabut (TK), stabilitas oksidasi (SO) dan angka iod (AI) seperti disajikan pada Tabel 4.6, 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.6 Komposisi FAME dan Parameter Titik Kebut (TK)

Jenis FAME	C12:0 (x ₁)	C14:0 (x ₂)	C16:0 (x ₃)	C16:1 (x ₄)	C18:0 (x ₅)	C18:1 (x ₆)
PME 1 ^a	0,30	0,10	42,32	0,20	4,65	41,62
PME 2 ^b	0,20	1,10	44,14	0,00	4,40	39,04
CME ^c	0,00	0,00	4,60	0,20	2,10	64,30
SME ^d	0,00	0,00	10,50	0,00	4,10	24,10
SFME ^e	0,00	0,00	4,50	0,00	4,00	82,00

Jenis FAME	C18:2 (x ₇)	C18:3 (x ₈)	C20:0 (x ₉)	C16:1 (x ₄)	C22:0 (x ₁₀)	TK (°C)
PME 1 ^a	10,40	0,10	0,30	0,20	0,00	17,00
PME 2 ^b	10,61	0,30	0,20	0,00	0,00	16,00
CME ^c	20,20	7,60	0,70	0,20	0,30	1,00
SME ^d	53,60	7,70	0,00	0,00	0,00	1,00
SFME ^e	5,00	0,20	0,30	0,00	0,00	5,00

Tabel 4.7 Komposisi FAME dan Stabilitas Oksidasi (SO)

Jenis FAME	C12:0 (x ₁)	C14:0 (x ₂)	C16:0 (x ₃)	C16:1 (x ₄)	C18:0 (x ₅)	C18:1 (x ₆)
PME ^a	0,30	0,10	42,32	0,20	4,65	41,62
CME ^c	0,00	0,00	4,60	0,20	2,10	64,30
SME ^d	0,00	0,00	10,50	0,00	4,10	24,10
SFME ^e	0,00	0,00	4,50	0,00	4,00	82,00

(lanjutan)

Jenis FAME	C18:2 (x ₇)	C18:3 (x ₈)	C20:0 (x ₉)	C22:0 (x ₁₀)	SO (jam)
PME ^a	10,40	0,10	0,30	0,00	17,30
CME ^c	20,20	7,60	0,70	0,30	6,40
SME ^d	53,60	7,70	0,00	0,00	5,00
SFME ^e	5,00	0,20	0,30	0,00	6,20

Tabel 4.8 Komposisi FAME dan Parameter Angka Iod (AI)

Jenis FAME	C12:0 (%)	C14:0 (%)	C16:0 (%)	C16:1 (%)	C18:0 (%)	C18:1 (%)
PME 1 ^a	0,30	0,10	42,32	0,20	4,65	41,62
PME 2 ^b	0,30	0,91	32,02	0,00	4,03	47,94
CME ^c	0,00	0,00	4,60	0,20	2,10	64,30
SME ^c	0,00	0,00	10,5	0,00	4,10	24,10
SFME ^c	0,00	0,00	4,50	0,00	4,00	82,00

(lanjutan)

Jenis FAME	C18:2 (%)	C18:3 (%)	C20:0 (%)	C22:0 (%)	AI (g-I ₂ /100 g)
PME 1 ^a	10,40	0,10	0,30	0,00	54,00
PME 2 ^b	14,50	0,30	0,00	0,00	64,90
CME ^c	20,20	7,60	0,70	0,30	110,00
SME ^c	53,60	7,70	0,00	0,00	134,00
SFME ^c	8,00	0,20	0,30	0,00	85,00

^a(Moser, 2008), ^b(Sarin, et al., 2007), dan ^c(Ooi, et al., 2005)

Keterangan :

PME : Palm Methyl Ester

CME : Canola Methyl Ester

SME : Soybean Methyl Ester

SFME : Sunflower Methyl Ester

C12:0 : Methyl Laurate

C14:0 : Methyl Myristate

C16:0 : Methyl Palmitate

C16:1 : Methyl Palmitoleate

C18:0 : Methyl Stearate

C18:1 : Methyl Oleate

C18:2 : Methyl Linoleate

C18:3 : Methyl Linolenate

C20:0 : Methyl Arachidate

C22:0 : Methyl Behenate

Berdasarkan data pada Tabel 4.6, 4.7 dan 4.8 dapat dilihat bahwa biodiesel dari sawit (PME) memiliki kelemahan pada titik kabut yang tinggi (sifat alir pada temperatur rendah kurang baik) namun memiliki kelebihan pada nilai stabilitas oksidasi yang tinggi. Sebaliknya biodiesel kanola (CME), biodiesel kedelai (SME) dan biodiesel bunga matahari (SFME) memiliki kelebihan pada titik kabut yang rendah (sifat alir pada temperature rendah baik) namun memiliki kelemahan pada stabilitas

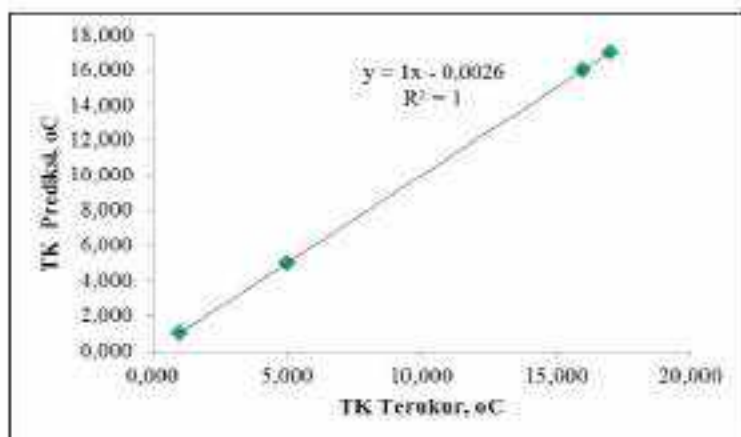
Buku Ini Dilarang Digandakan

oksidasi yang rendah. Hal ini disebabkan karena PME memiliki komposisi FAME dengan kandungan senyawa tak jenuh lebih yang rendah dibandingkan CME, SME dan SFME, seperti ditunjukkan dengan angka iod nya yang lebih rendah. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan karakteristik biodiesel performa tinggi adalah dengan pencampuran biodiesel dari bahan baku berbeda dengan porsi tertentu agar diperoleh karakteristik yang optimum.

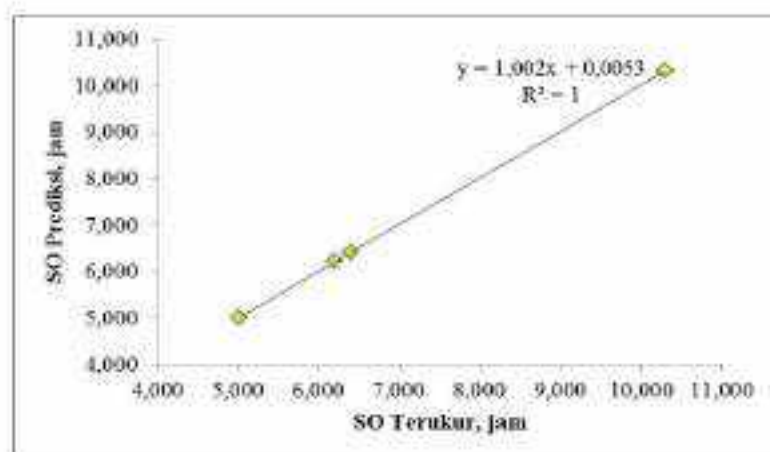
Karakteristik suatu biodiesel seperti TK, SO dan AI hasil pencampuran dapat diperkirakan dengan bantuan persamaan empiris yang disusun berdasarkan data yang sudah tersedia. Berdasarkan data komposisi FAME dan parameter-parameter penting dari data sekunder seperti TK, SO dan AI, didapatkan persamaan empiris dengan mempergunakan aplikasi Microsoft Excel, seperti dirangkum pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Persamaan Empiris Data Sekunder

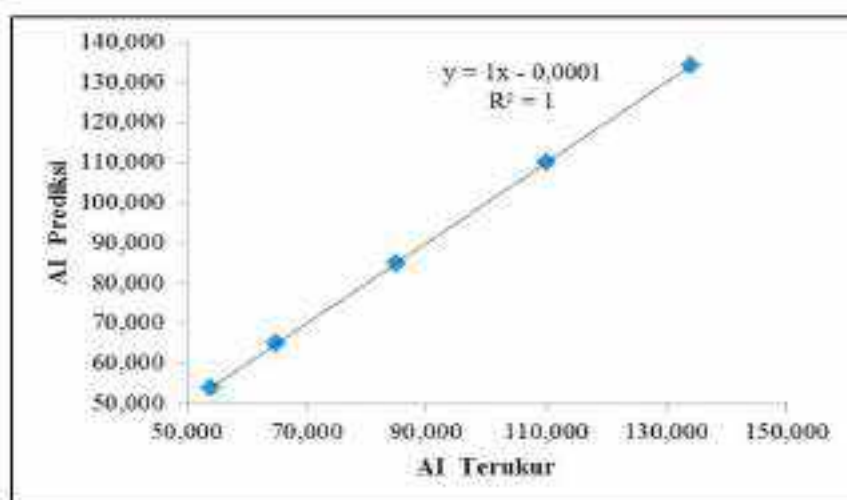
No.	Parameter	Persamaan	%error
1	Titik Kabut	$TK = 496,847 - 3,5711x_2 - 4,8891x_3 - 5,1954x_4 - 5,3774x_7 - 4,0358x_8$	0.27
2	Stabilitas Oksidasi	$SO = 0,404 + 0,174 x_3 + 0,061x_4 + 0,17x_8$	0.11
3	Angka iod	$AI = 161,714 - 2,0811x_2 - 1,7126x_3 - 0,8449x_4 + 1,3805x_8$	0.00



Gambar 4.7. Validasi nilai TK terukur dan terprediksi (sekunder)



Gambar 4.8. Validasi nilai SO terukur dan terprediksi (sekunder)



Gambar 4.9. Validasi nilai AI terukur dan terprediksi (sekunder)

Untuk menilai keakuratan persamaan empiris yang telah disusun dilakukan validasi dengan membuat perbandingan nilai antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan tersebut. Persamaan untuk parameter penting meliputi stabilitas oksidasi, titik kabut, serta angka iod, menunjukkan kecenderungan memberikan nilai

%*error* kecil dibawah 1 %. Validasi persamaan parameter-parameter tersebut menunjukkan nilai $R=1$ seperti pada Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9.

Suatu persamaan untuk menjelaskan hubungan antara komposisi FAME (sebagai *independent variable*) dan parameter-parameter penting biodiesel (sebagai *dependent variable*) disusun dari data primer berbasis sawit mempergunakan aplikasi Microsoft Excel. Berdasarkan hasil pengujian terkait diperoleh komposisi FAME dari lima jenis biodiesel berbasis sawit dan nilai beberapa parameter yaitu stabilitas oksidasi (SO), titik kabut (TK), angka iod (AI), viskositas (V), dan densitas (ρ) seperti disajikan pada Tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4.10 Komposisi FAME Hasil Uji GC (Data Primer)

Sample	C10 (%)	C12 (%)	C14 (%)	C16a (%)	C16b (%)	C18a (%)	C18b (%)	C18c (%)	C18d (%)
A	0,00	0,13	1,11	56,26	0,21	5,15	29,93	6,38	0,83
B	0,00	0,16	0,71	41,72	0,11	5,92	42,62	8,21	0,54
C	0,10	0,10	0,89	44,04	0,17	4,71	39,75	9,93	0,32
D	0,00	0,13	0,99	55,33	0,33	4,97	29,65	7,86	0,86
E	0,06	0,13	1,16	51,41	0,40	5,27	28,54	11,86	1,17

Tabel 4.11 Parameter yang Diujikan (Data Primer)

Sampel	SO	TK	AI	V	ρ
A	17,00	17,40	44,75	4,74	865,60
B	16,00	13,20	53,28	4,44	857,00
C	18,00	13,30	52,11	4,59	857,50
D	9,95	17,20	50,63	4,58	857,70
E	8,53	16,80	55,20	4,50	857,10

Berdasarkan data komposisi FAME dan parameter-parameter penting dari data primer, didapatkan persamaan dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel, dirangkum pada Tabel 4.12 dan 4.13.

Tabel 4.12 Rentang Komposisi FAME Penggunaan Persamaan Empiris

Jenis FAME	Kadar (% m/m)
Metil Kaprat	0 - 0,104
Metil Laurat	0,099 - 0,127
Metil Miristat	0,712 - 1,158
Metil Palmitat	41,722 - 56,262
Metil Palmitoleat	0,109 - 0,402
Metil Stearat	4,706 - 5,919
Metil Oleat	28,537 - 42,624
Metil Linoleat	6,376 - 11,864
Metil Linolenat	0,318 - 1,169

Tabel 4.13. Persamaan Empiris Berdasarkan Data Primer

No.	Parameter	Persamaan	%error
1	Stabilitas oksidasi (SO)	$SO = -162,471 + 42,293x_1 + 1,062 x_4 + 2,5024 x_7 - 0,334 x_8$ (4,12)	0,52
2	Titik kabut (TK)	$TK = 53,716 - 0,892 x_3 - 0,26x_4 - 0,586x_7 - 0,482 x_8$ (4,13)	0,11
3	Angka iod (AI)	$AI = 149,694 - 26,749x_3 - 0,7975 x_4 - 1,2462 x_7 + 1,09876 x_8$ (4,14)	0,01
4	Viskositas (V)	$V = -2,769 + 0,9866x_3 + 0,0676 x_4 + 0,0809 x_7 - 0,0286 x_8$ (4,15)	0,07
5	Densitas (p)	$\rho = 897,317 + 39,4679 x_3 - 0,96185 x_4 - 0,13386 x_7 - 2,75065 x_8$ (4,16)	0,00

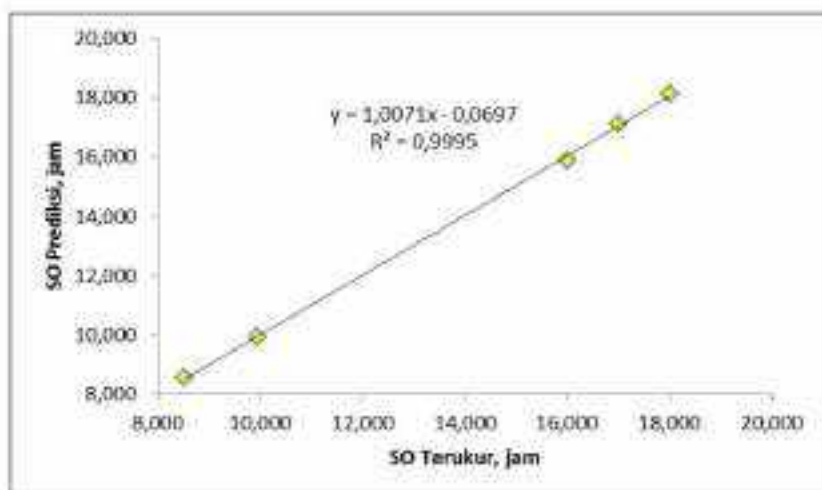
Persamaan empiris parameter-parameter penting berdasarkan data sekunder seperti persamaan untuk memprediksi nilai stabilitas oksidasi, titik kabut, dan angka iod (Tabel 4.6), tidak dapat digunakan untuk memprediksi nilai parameter-parameter penting biodiesel berbasis sawit. Dikarenakan persamaan ketiga parameter penting tersebut (Tabel 4.9) didapat dari perpaduan data biodiesel dengan bahan baku yang tidak sama dan memberikan nilai % error yang cukup tinggi. Sehingga

persamaan yang diperoleh dikatakan dapat dipergunakan atau berlaku khusus pada jenis biodiesel tertentu saja, misalnya persamaan biodiesel berbasis sawit. Apabila persamaan data sekunder (Tabel 4.9) diujikan dengan menggunakan data komposisi FAME data primer (Tabel 4.10), hasil persentase rata-rata penyimpangannya (*% error*) tertuang dalam tabel 4.14.

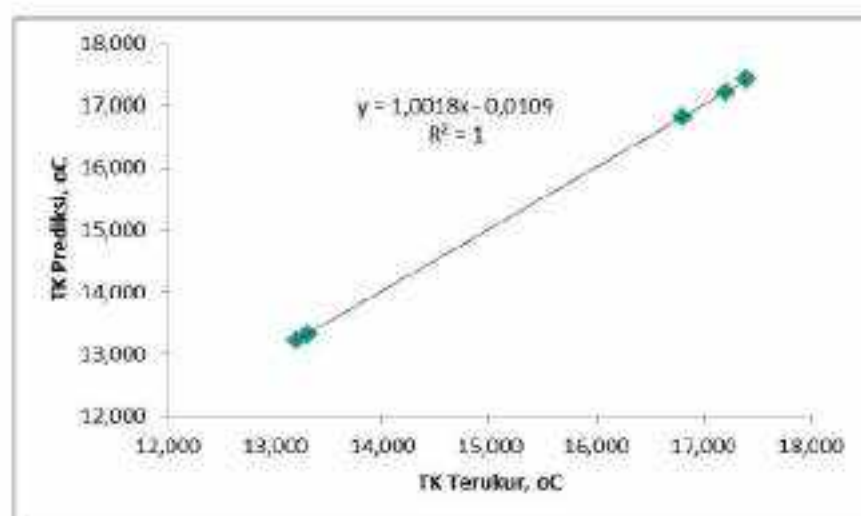
Tabel 4.14 Penyimpangan Penggunaan Persamaan Empiris Data Sekunder Menggunakan Data Primer

No.	Parameter	<i>% error</i>
1	Stabilitas Oksidasi	31,60
2	Titik Kabut	44,32
3	Angka Iod	9,15

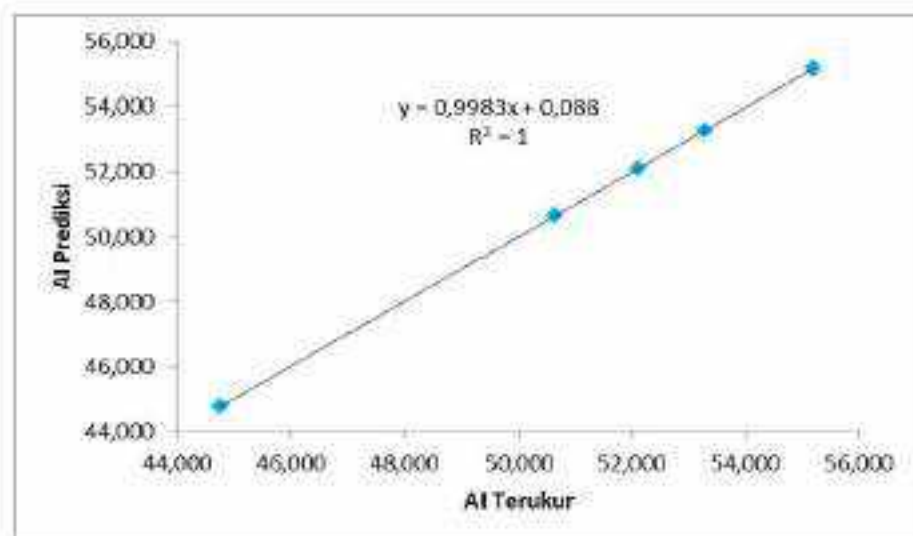
Selain memiliki perbedaan pada jenis biodiesel sebagai basis persamaan, juga memiliki perbedaan pada penggunaan komposisi FAME. Persamaan stabilitas oksidasi, titik kabut, angka iod, viskositas, dan massa jenis data primer yang diperoleh, memerlukan nilai komposisi FAME seperti tertera pada Tabel 4.12. Sehingga dalam penggunaannya tentu lebih mudah.



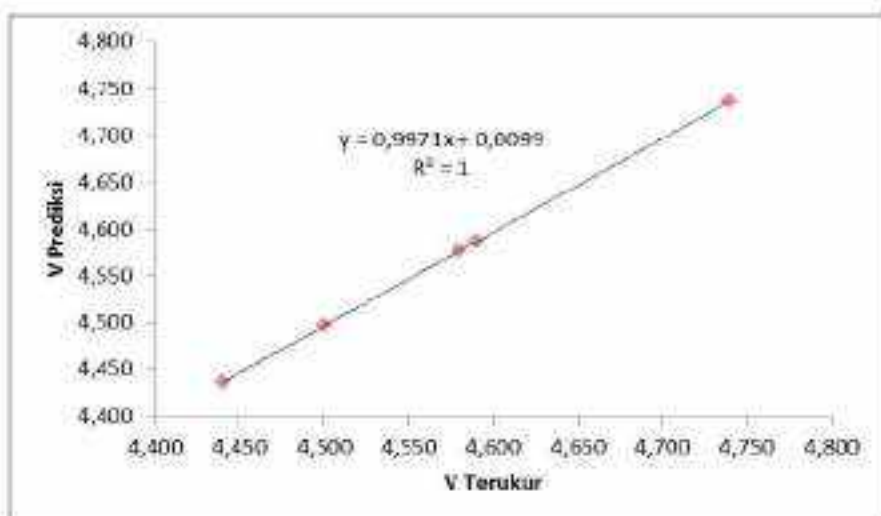
Gambar 4.10. Validasi nilai SO terukur dan terprediksi (primer)



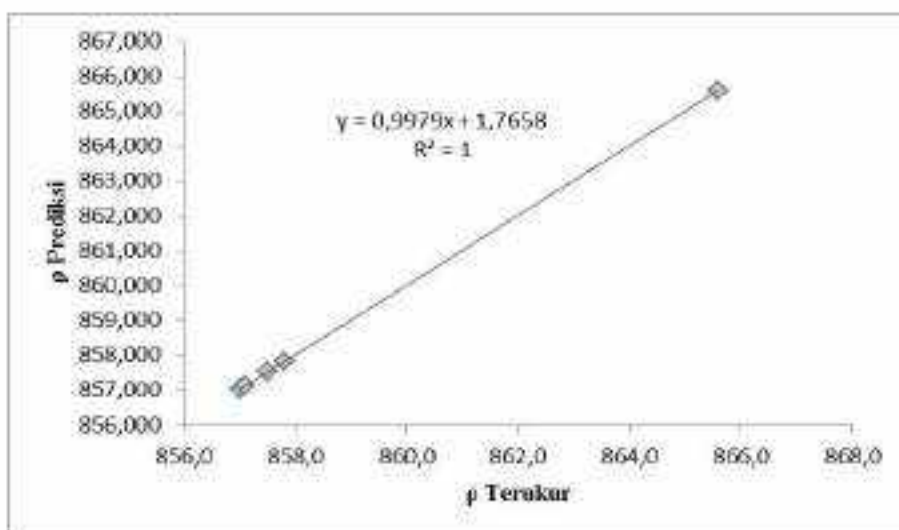
Gambar 4.11. Validasi nilai TK terukur dan terprediksi (primer)



Gambar 4.12. Validasi nilai AI terukur dan terprediksi (primer)



Gambar 4.13. Validasi nilai V terukur dan terprediksi (primer)



Gambar 4.14. Validasi nilai ρ terukur dan terprediksi (primer)

Untuk menilai keakuratan persamaan empiris yang telah disusun dilakukan validasi dengan membuat perbandingan nilai antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan tersebut. Persamaan untuk parameter penting berdasarkan data primer meliputi

stabilitas oksidasi, titik kabut, angka iod, viskositas, dan massa jenis, menunjukkan kecenderungan memberikan nilai %*error* kecil dibawah 1 %. Validasi persamaan parameter-parameter tersebut menunjukkan nilai $R = \pm 1$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, dan 4.14.

-oo0oo-

