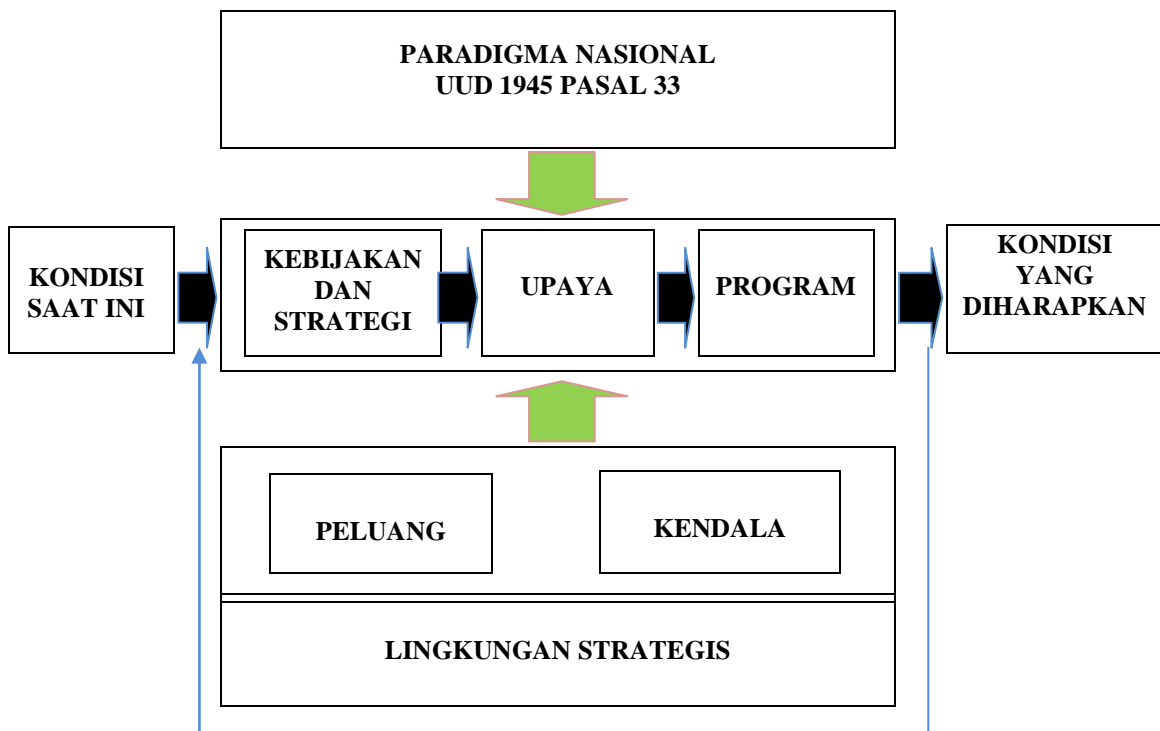


# BAB I

## PENDAHULUAN

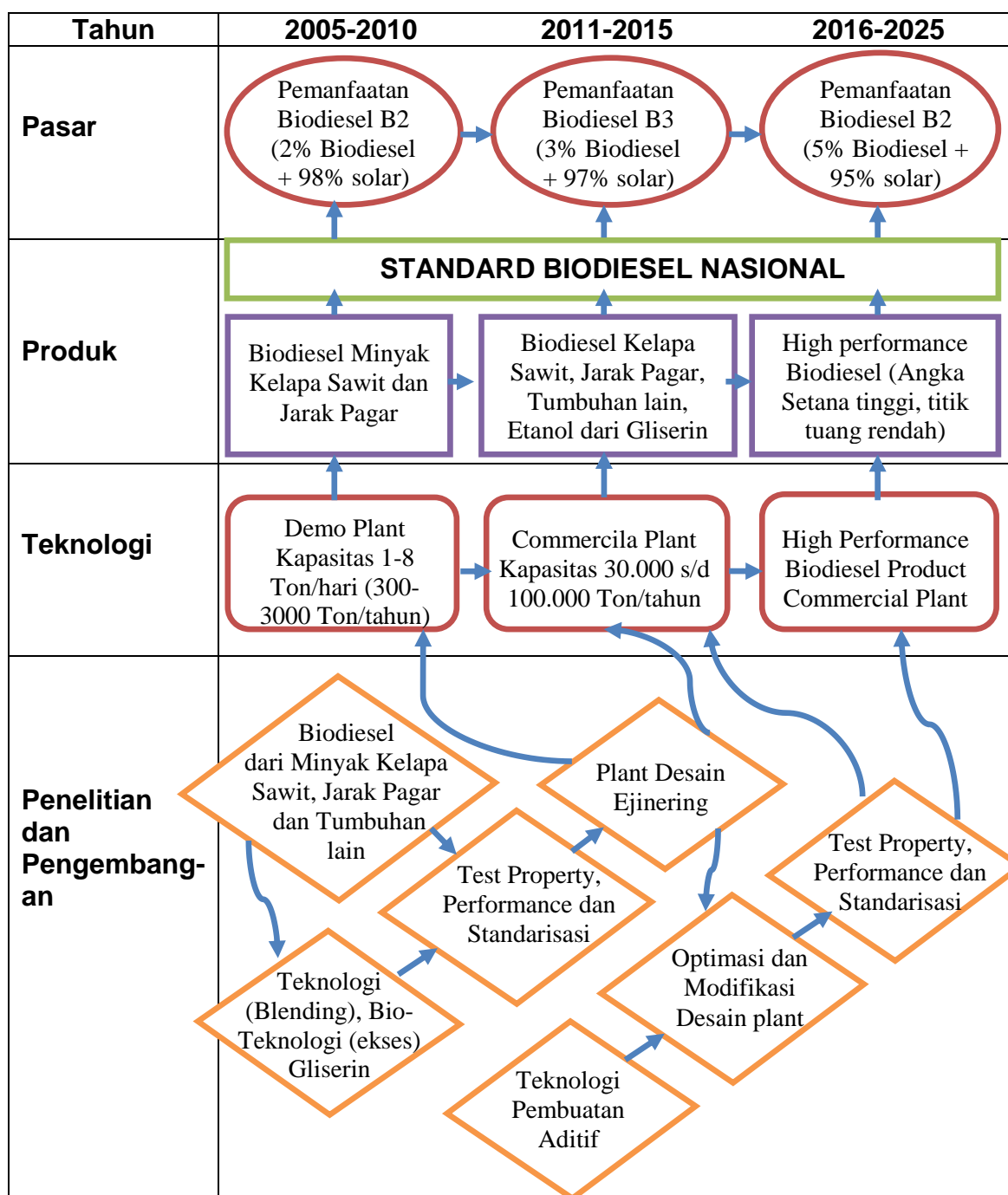
### 1.1 Latar Belakang

Dalam menanggapi krisis energi dan kontroversi yang tak henti-hentinya atas kebijakan kenaikan harga Bahan Bakar Minyak (BBM), pemerintah Indonesia berkomitmen pada pengembangan energi terbarukan, terutama biodiesel. Sebuah blueprint pembangunan sektor biodiesel di Indonesia dirumuskan pada tahun 2005, dengan salah satu sasaran utama yaitu untuk mengatasi krisis energi. Pemerintah Indonesia telah merumuskan pengembangan energi terbarukan, terutama biodiesel yang dituangkan dalam pola pikir pengelolaan energi nasional secara terpadu untuk mendukung pembangunan berkelanjutan seperti ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar. 1.1. Pola pikir pengelolaan energi nasional secara terpadu untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (*Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional, 2005-2025).

Adapun *Roadmap* teknologi biodiesel di Indonesia, dirumuskan untuk jangka waktu 20 tahun (2005-2025) yang dibagi menjadi tiga tahapan seperti ditunjukkan pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Roadmap teknologi biodiesel (*Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025)

Tahap pertama (periode tahun 2005-2010), bahwa pemerintah Indonesia mencanangkan pemanfaatan energi biodiesel 2%, tahap kedua (periode tahun 2010-2015), pemanfaatan energi biodiesel 3%, dan tahap ketiga (periode tahun 2015-2025), mencanangkan bahwa

5% dari konsumsi energi nasional harus dipenuhi dari biodiesel dengan prioritas pada minyak kelapa sawit dan minyak jarak (*Blueprint Pengelolaan Energi Nasional, 2005-2025*).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti solar yang sangat potensial sebagai bahan bakar mesin diesel. Keunggulan biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar solar yaitu dapat mengurangi emisi gas buang yang meliputi emisi hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), sulfur oksid (SO), dan partikel-partikel lainnya (PM) (Rushang, *et al*, 2007), dan manfaat lain dari biodiesel adalah angka setana (CN) yang cukup tinggi, dan pelumasan yang sangat baik. Dengan titik nyala yang relatif tinggi 154°C, biodegradabilitas tinggi dan toksinitas rendah, biodiesel dianggap sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dibanding dengan bahan bakar solar (Smith, P.C. *et al*, 2010).

Meskipun biodiesel memiliki banyak keunggulan, namun biodiesel masih memiliki beberapa kekurangan yaitu nilai kalori yang lebih rendah sehingga daya efektif mesin juga lebih rendah (Breda Kegl, 2008), emisi NO<sub>x</sub> sedikit lebih tinggi saat mengoperasikan mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel (Knothe, G., 2005) dan stabilitas oksidasi yang buruk dibandingkan dengan bahan bakar solar (Mark Winston-Galant. *et al*, 2010). Kekurangan yang lain penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar adalah bahwa viskositas biodiesel menjadi lebih tinggi pada suhu rendah karena terjadinya kristalisasi metil ester minyak kelapa sawit. Pada suhu rendah, gel bahan bakar akan membeku di saluran bahan bakar sehingga akan menyumbat filter bahan bakar dan mengakibatkan tekanan injeksi bahan bakar yang lebih tinggi di operasi mesin pada suhu rendah sehingga dapat mematikan mesin (Mustafa E. Tat. *et al*, 1999).

Aditif yang dirancang untuk bahan bakar solar telah digunakan sebagai campuran biodiesel dengan tingkat keberhasilan yang terbatas, sedangkan aditif yang dirancang khusus untuk biodiesel masih dalam tahap pengembangan. Biodiesel jika digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada suhu rendah yaitu membatasi aplikasi

biodiesel (20%) dicampur dengan solar (80%) atau lebih kecil. Beberapa pendekatan telah diusulkan untuk menurunkan viskositas biodiesel sehingga dapat meningkatkan sifat aliran biodiesel pada suhu rendah yang meliputi pencampuran dengan solar, penggunaan aditif, modifikasi fisik, kristalisasi fraksinasi, dan winterisasi (Smith, P.C. *et al*, 2010).

Sifat aliran suhu rendah dari biodiesel minyak kelapa sawit dapat ditingkatkan dengan pencampuran antara biodiesel dengan aditif (Udomsap, P. *et al*, 2008). Aplikasi aditif dengan kinerja tinggi sangat penting untuk memenuhi sifat bahan bakar yang dibutuhkan dan untuk melindungi mesin serta lingkungan (Hancsořka, J. *et al*, 2008). Aditif jangka panjang adalah yang dapat berpotensi menurunkan emisi NO<sub>x</sub> dari mesin diesel (Cusano, C.M. 2008). Pencampuran dengan solar hanya efektif pada proporsi biodiesel yang rendah (hingga 20%). Penggunaan aditif sebagai campuran biodiesel lebih lanjut diklasifikasikan ke dalam aditif generik dan aditif komersil yang dikembangkan dengan teknologi baru secara khusus untuk biodiesel (Smith, P.C. *et al*, 2010).

Mengingat bahwa beberapa wilayah di Indonesia memiliki iklim dingin (suhu rendah), khususnya di wilayah pegunungan seperti daerah Gunung Agung di Bali, Gunung Bromo di Malang, Gunung Sumbing di Wonosobo, dan wilayah dataran tinggi lainnya, maka perlu dilakukan penelitian untuk menurunkan viskositas biodiesel jika digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar pada suhu rendah. Penelitian ini difokuskan untuk menurunkan viskositas biodiesel dengan menggunakan salah satu pendekatan yang dipilih yaitu pencampuran antara biodiesel dengan aditif generik diethyl ether (DDE), buatan Merck, Jerman dan aditif komersial Viscoplex 10-330 CFI, buatan Rohmax, Jerman. Biodiesel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu biodiesel berbasis minyak kelapa sawit atau *Palm Oil Methyl Ester* (POME), buatan IPB, Bogor. Hal ini sesuai dengan kebijakan pemerintah Indonesia, dimana sejak tahun 2005, pemerintah Indonesia memerintahkan kepada P.T. Pertamina sebagai perusahaan minyak nasional, untuk mulai menjual bahan bakar campuran 2% biodiesel dengan 98% solar terutama biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit (Dillon, 2008).

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah dirumuskan sebagai berikut: “*Studi pengaruh pencampuran aditif terhadap viskositas biodiesel pada suhu rendah*”.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian tentang studi pengaruh pencampuran aditif terhadap viskositas biodiesel pada suhu rendah dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Biodiesel yang digunakan dibuat dari bahan baku minyak kelapa sawit yang disebut metil ester kelapa sawit (POME) buatan Institut Pertanian Bogor.
2. Untuk menurunkan viskositas biodiesel yaitu menggunakan cara pencampuran biodiesel dengan aditif, dimana aditif yang dipilih sebagai campuran biodiesel yaitu aditif generik diethyl ether (DDE), buatan Merck, Jerman dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI, buatan Rohmax, Jerman.

## 1.4 Penelitian yang Pernah Dilakukan

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Mustafa E. Tat. *et al*, (1999), telah meneliti tentang viskositas kinematik dari campuran biodiesel dengan solar. Pengukuran dilakukan untuk rentang suhu dari 0 sampai 100°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas kinematik biodiesel meningkat seiring dengan penurunan suhu, dan viskositas campuran antara biodiesel dan bahan bakar solar adalah bervariasi sesuai dengan prosentase campuran.

Tate, R.E. *et al*, (2006), juga telah melakukan penelitian secara eksperimental tentang pengaruh suhu terhadap viskositas dari tiga bahan bakar biodiesel yaitu biodiesel minyak kanola, biodiesel minyak kedelai, dan biodiesel minyak ikan pada rentang suhu 20 sampai 300°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas kinematik biodiesel menjadi meningkat seiring dengan penurunan suhu. Hasil eksperimen dalam penelitian ini yaitu ada kesepakatan yang baik jika dibandingkan dengan hasil prediksi yang dilakukan oleh Tat dan Van Gerpen, (1999), dimana kesalahan absolut maksimum sebesar 0,61 mm<sup>2</sup>/s (cSt) pada 40°C.

Tesfa, B. *et al*, (2010), melakukan penelitian secara eksperimental dan secara prediksi untuk memperkirakan viskositas campuran bahan bakar antara biodiesel minyak jagung, biodiesel minyak lobak (*rapeseed*), dan biodiesel minyak jelantah pada berbagai suhu. Efek dari fraksi campuran biodiesel dan suhu pada viskositas kinematik biodiesel merupakan model yang diselidiki dan sesuai dengan yang dikembangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas kinematik biodiesel meningkat dengan meningkatnya fraksi campuran biodiesel untuk semua campuran. Viskositas kinematik biodiesel yang diperoleh dalam penelitian ini bervariasi di kisaran 3,55 sampai 5,48 mm<sup>2</sup>/s (cSt). Viskositas kinematik hasil pengukuran dan korelasi regresi memiliki kesalahan mutlak maksimum 0,299. Persamaan viskositas Grun-Nissan yang telah dimodifikasi digunakan untuk memprediksi viskositas kinematik campuran biodiesel dari fraksi biodiesel dan suhu. Model empiris menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan kesalahan absolut maksimum 0,50. Viskositas kinematik biodiesel mempengaruhi kinerja dari sistem *supply* bahan bakar termasuk pompa bahan bakar, filter bahan bakar dan perilaku pencampuran udara-bahan bakar.

Pencampuran biodiesel berbasis minyak kedelai (*Soy Methyl Ester*) dengan empat aditif komersil yang meliputi *FPPF Deluxe Total Power*, *Power Service Diesel Fuel Supplement + Cetane Boost*, *Amsoil Diesel Cold Flow Improver*, dan *Howe's Diesel Treat*, masing-masing dengan konsentrasi campuran sebesar 1 dan 2% vol telah diteliti oleh Pope, D.N. *et al*, (2009). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran aditif komersil *Amsoil Diesel Cold Flow Improver* pada biodiesel berbasis minyak kedelai adalah yang paling baik, dimana pencampuran aditif komersil *Amsoil Diesel Cold Flow Improver* dengan konsentrasi 1% vol dapat menurunkan titik tuang (*pour point*) sebesar 10°C dari -2°C menjadi -12°C.

Udomsap, P. *et al*, (2008), juga melakukan penelitian pencampuran biodiesel berbasis minyak kelapa sawit dengan empat aditif komersil yang berbeda yaitu OFI-7650, FA 205, CH6830 dan D, masing-masing dengan konsentrasi campuran sebesar: 0,1; 0,5; 1; dan 5% vol. Penggunaan aditif komersil yang paling optimal sebagai campuran biodiesel berbasis minyak kelapa sawit untuk digunakan sebagai bahan bakar

mesin diesel pada suhu rendah adalah aditif komersil FA 205, dimana hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan aditif komersil FA 205 dengan konsentrasi 0,5% vol dapat menurunkan titik tuang sebesar 4°C (dari 18°C menjadi 14°C).

Joshi, H. *et al*, (2008) juga telah meneliti pencampuran biodiesel berbasis minyak kapas (cottonseed oil methyl ester) dengan empat aditif komersil yang terdiri dari *Technol B100 biodiesel cold flow improver*, *Gunk premium diesel fuel anti-gel*, *Heet diesel fuel anti-gel*, serta *Howe's diesel treat conditioner & anti-gel*, dimana masing-masing dengan konsentrasi campuran sebesar: 0,2; 0,5; 0,75; dan 1% vol. Joshi, H. *et al*,(2008) menyatakan bahwa penggunaan aditif komersil yang paling optimal digunakan sebagai campuran biodiesel untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada suhu rendah adalah aditif komersil *Technol B100 biodiesel cold flow improver*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan aditif komersil *Technol B100 biodiesel cold flow improver* pada konsentrasi 0,2; 0,5; dan 0,75% vol dapat menurunkan titik tuang sebesar 3°C (dari 7°C menjadi 4°C).

Perusahaan Rohmax (pada tahun 2010) yang memproduksi aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI yang di khususkan sebagai aditif untuk campuran biodiesel berbasis minyak kelapa sawit yang akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada suhu rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Perusahaan Rohmax tentang pencampuran aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI dan biodiesel berbasis minyak kelapa sawit dengan variasi konsentrasi: 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; dan 1,2 % vol. Pada konsentrasi campuran aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI sebesar 1% vol dapat menurunkan suhu sebesar 5°C (dari suhu 11°C sampai mencapai 6°C). Dengan kata lain bahwa titik awan (*cloud point*) dapat ditingkatkan sekitar 5°C.

Pengaruh pencampuran aditif generik diethyl ether pada biodiesel JME (*Jojoba Methyl Ester*) dengan konsentrasi sebesar: 5; 10 dan 15% vol telah diteliti oleh Selim, M.Y.E. (2009). Aditif generik diethyl ether dipilih karena viskositas yang sangat rendah (viskositas kinematik diethyl ether sebesar 0,32 cSt pada 40°C). Hasil pengujian viskositas campuran menunjukkan bahwa menambahkan 5% diethyl ether

menyebabkan viskositas menurun dari 16,6 cP menjadi 11,3 cP, menambahkan 10% diethyl ether mengurangi hingga 7,7 cP dan menambahkan 15% diethyl ether viskositas menurun dari 16,6 cP menjadi 5,3 cP. Perubahan viskositas telah terbukti sukses untuk mengurangi viskositas biodiesel metil ester minyak Jojoba (JME) dalam rentang yang dapat diterima sebagai bahan bakar mesin diesel.

Dalam penelitian Sivalakshmi, S. *et al*, (2010), penambahan diethyl ether (DEE) telah digunakan sebagai aditif dalam beroksigen untuk bahan bakar biodiesel, metil ester minyak jarak pagar (JOME) tampaknya merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk mengurangi emisi khususnya, jelaga atau NO<sub>x</sub> dan emisi partikulat, karena terikat kandungan oksigen (21% berat), dan juga penurunan viskositas. Oksigenat bahan bakar ini dapat diproduksi dengan mudah oleh dehidrasi etanol, sebuah biofuel terbarukan. Hasil penelitian menunjukkan penurunan emisi NO<sub>x</sub> secara signifikan terutama untuk penambahan DEE lebih dari 10% vol dan sedikit penurunan asap dibandingkan dengan JOME murni. Telah ditemukan bahwa penambahan 15% volume DEE pada JOME memberikan performa dan karakteristik emisi yang lebih baik.

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan:

1. Untuk menurunkan viskositas biodiesel berbasis minyak kelapa sawit dengan cara pencampuran biodiesel dengan aditif (generik dan komersil), sehingga nilai viskositas biodiesel memenuhi standar SNI 04-7182-2006 dan dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada aliran suhu rendah.
2. Membandingkan antara pencampuran biodiesel dan aditif generik diethyl ether dengan pencampuran biodiesel dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI untuk menurunkan viskositas, sehingga dapat dipilih penggunaan aditif sebagai campuran biodiesel yang paling besar penurunan viskositasnya.
3. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran aditif terhadap nilai kalor biodiesel berbasis minyak kelapa sawit.



## **1.6 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan:

1. Dapat memberi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang bahan bakar alternatif, khususnya dengan memanfaatkan pencampuran aditif dengan biodiesel berbasis kelapa sawit untuk menurunkan viskositas, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada aliran suhu rendah.
2. Dapat menjadi bahan rujukan bagi penelitian lebih lanjut tentang penurunan viskositas biodiesel jika digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada aliran suhu rendah.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, penelitian yang pernah dilakukan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Berisikan gambaran umum tentang biodiesel, teori dasar tentang viskositas, peningkatan aliran suhu rendah, serta nilai kalor dan bomb calorimeter.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tentang bahan yang digunakan, peralatan yang digunakan dalam melakukan pengujian viskositas biodiesel pada suhu rendah, diagram alir penelitian, nilai kalor biodiesel, serta cara penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bagian ini diberikan analisa dan pembahasan terhadap hasil pengujian.

### **BAB V KESIMPULAN**

Berisi kesimpulan dan saran

### **LAMPIRAN - LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Biodiesel adalah sebuah bahan bakar alternatif pengganti solar yang terbuat dari sumber daya terbarukan seperti minyak nabati dan lemak hewani. Biodiesel memiliki sifat pembakaran yang sangat mirip dengan solar, tetapi biodiesel tidak mudah terbakar karena titik nyala biodiesel sebesar 154°C dibandingkan dengan titik nyala untuk solar sebesar 64°C. Dinyatakan bahwa biodiesel dapat meningkatkan pelumasan dan kandungan belerang yang rendah dibanding dengan bahan bakar solar. Tidak seperti solar, biodiesel adalah biodegradable dan tidak beracun, dan secara signifikan dapat mengurangi emisi gas beracun dan emisi lainnya ketika digunakan sebagai bahan bakar (Ching T. Hou, Bab 1, Erhan, S.Z. *et al*, 2009).

Pada saat sekarang, untuk menghasilkan biodiesel harganya lebih mahal dibandingkan dengan bahan bakar solar, yang tampaknya menjadi kendala utama penggunaan biodiesel secara luas. Produksi minyak nabati dan lemak hewani di seluruh dunia saat ini tidak cukup untuk menggantikan penggunaan bahan bakar fosil cair. Namun, salah satu masalah yang perlu mendapat perhatian tentang biodiesel adalah bahwa viskositas menjadi lebih tinggi jika digunakan pada suhu rendah dibanding dengan bahan bakar solar (Mustafa, *et al*, 1999; Knothe, G., 2005). Bahan bakar solar memiliki viskositas dalam kisaran dari 2,0-2,5 mm<sup>2</sup>/s (cSt) pada 40°C (PT. Pertamina, 2007), dan biodiesel berbasis minyak kelapa sawit memiliki viskositas antara 2,3-6,0 mm<sup>2</sup>/s (cSt) pada 40°C (SNI 04-7182-2006).

#### **2.1. Biodiesel**

Biodiesel adalah bahan bakar yang dibuat dari minyak nabati, baik minyak baru maupun minyak bekas penggorengan (minyak jelantah) melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak (BBM) untuk mesin diesel. Biodiesel dapat diaplikasikan baik dalam bentuk 100% (B100) atau campuran dengan bahan bakar

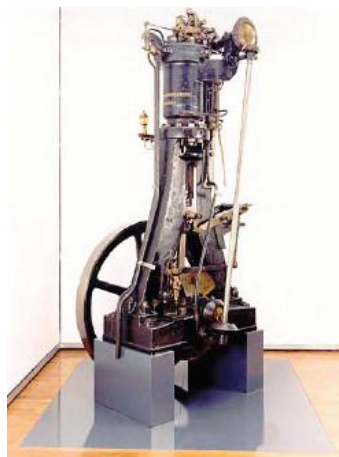
solar pada tingkat konsentrasi tertentu (Bxx), seperti 10% biodiesel dicampur dengan 90% solar yang dikenal dengan nama B10 (Knothe, G., 2005).

### 2.1.1. Definisi Biodiesel

Biodiesel merupakan produk dari transesterifikasi antara minyak nabati dan alkohol, atau secara kimia didefinisikan sebagai mono-alkil ester dari asam lemak rantai panjang, berasal dari minyak nabati dan dari lemak hewani yang memenuhi spesifikasi ASTM D 6751 yang disebut B100. (Mustafa, E.Tat. *et al*, 1999).

### 2.1.2. Sejarah Biodiesel

Transesterifikasi dari minyak nabati menjadi biodiesel dilakukan sejak 1853, oleh E. Duffy dan J. Patrick sebelum mesin diesel pertama kali ditemukan. Model mesin diesel pertama kali yang dibuat oleh Rudolf Diesel adalah mesin diesel silinder tunggal dengan diameter roda gila 3 meter (gambar 2.1) yang diuji coba pertama kali di Augsburg, Jerman pada tanggal 10 Agustus 1893 menggunakan bahan bakar biodiesel minyak kacang tanah. Untuk mengingat acara ini, maka pada tanggal 10 Agustus 1893 dinyatakan sebagai *International Biodiesel Day*. Rudolf Diesel kemudian mendemonstrasikan mesin diesel buatannya pada *World Fair* di Paris, Perancis pada tahun 1898 (Knothe, G., 2005).



**Gambar 2.1.** Foto Rudolf diesel dan Mesin Diesel ciptaannya pertama kali (Knothe, G, 2005).

Pada Pameran Dunia di Paris, Perancis pada tahun 1898, salah satu dari lima mesin diesel, dilakukan uji coba dengan bahan bakar minyak kacang tanah (Knothe, G. 2005), yang merupakan pertama kali dikenalkan penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar mesin diesel. Rudolf Diesel sangat yakin, bahwa pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar mesin diesel di masa depan. Rudolf Diesel berkeinginan agar para petani memiliki kesempatan untuk membuat sendiri bahan bakar biodiesel. Pada tahun 1911, Rudolf Diesel mengatakan "Mesin diesel dapat dijalankan menggunakan bahan bakar biodiesel yang dibuat dari minyak nabati dan akan sangat membantu dalam pengembangan pertanian di negara-negara yang menggunakannya". Pernyataan Rudolf Diesel yang lain yaitu "Penggunaan minyak nabati untuk bahan bakar mesin diesel kelihatannya saat ini tidak berarti, tetapi dengan perjalanan waktu, minyak nabati tersebut sama pentingnya dengan bahan bakar minyak bumi dan batu bara".

Tujuan utama Rudolf Diesel adalah untuk mengembangkan mesin diesel yang lebih efisien, karena ia menyatakan dalam bab pertamanya (1913), *Die Entstehung des Dieselmotors (The Development [or Creation or Rise or Coming] of the Diesel Engine)*. Di negara-negara seperti Brazil, Cina dan India, terutama di Cina, minyak nabati *pyrolyzed* telah diteliti sebagai bahan bakar. Hal ini merupakan hasil karya awal yang didokumentasikan yang masih berlaku sampai saat ini. Viskositas biodiesel dari minyak nabati yang tinggi adalah merupakan masalah utama, tetapi hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa emisi gas buang mesin diesel menggunakan bahan bakar biodiesel adalah "Bersih" dibandingkan dengan bahan bakar solar, meskipun tidak ada penelitian secara kuantitatif tentang emisi gas buang (Knothe, G. 2005).

Walton (1938), juga mengakui bahwa bagian gliserol tidak memiliki nilai bahan bakar dan menyarankan untuk dilakukan pemisahan gliserol tersebut dari etil ester asam lemak sehingga diperoleh biodiesel. Dokumentasi pertama tentang esterifikasi minyak nabati menjadi biodiesel sebagai bahan bakar mesin diesel adalah hak paten nomor 422877 yang ditemukan oleh Chavanne, Belgia, diterbitkan pada 31 Agustus 1937. Beberapa publikasi hasil penelitian yang lain membahas tentang penggunaan etil ester asam lemak sebagai bahan bakar, dimana bahan bakar etil ester tersebut dari minyak

kelapa sawit. Sebuah bus penumpang komersil ternyata menggunakan bahan bakar etil ester kelapa sawit di Brussels, *Louvain rute*. Pertama pengujian adalah angka setana biodiesel, sekali lagi dalam bentuk etil ester kelapa sawit, telah dilakukan. Bahan bakar biodiesel memiliki beberapa angka setana lebih tinggi dibanding dengan bahan bakar solar berbasis petrolium.

Krisis energi di tahun 1970-an dan awal 1980-an memicu minat pada sumber energi terbarukan dan sumber energi domestik di seluruh dunia. Dalam konteks ini, menjadi ingat bahwa minyak nabati merupakan bahan baku potensial untuk bahan bakar alternatif dari mesin diesel. Pada tahun 1980, Bruwer, *et al*, melaporkan bahwa mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak bunga matahari adalah kurang rentan terhadap pembentukan *build-up* mesin. Hasil penelitian ini akhirnya mengarah pada masa sekarang yaitu adanya minat untuk memproduksi biodiesel dan termasuk pengembangan standar dan undang-undang serta peraturan di berbagai negara di dunia.

### **2.1.3. Bahan Baku Biodiesel**

Minyak nabati sebagai sumber utama biodiesel dapat dipenuhi dari berbagai macam jenis tumbuhan tergantung pada sumber daya utama yang banyak terdapat di suatu negara. Sumber bahan baku utama untuk produksi biodiesel di berbagai negara antara lain:

1. Benua Eropa dan Inggris adalah bunga matahari dan canola
2. Amerika Serikat adalah minyak kedelai
3. Irlandia adalah minyak goreng dan lemak hewani
4. Thailand, Indonesia dan Malaysia adalah minyak kelapa sawit
5. Filipina adalah minyak kelapa

Di Indonesia memiliki banyak sumber daya untuk bahan baku biodiesel seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. Sumber minyak nabati dikatakan potensial sebab mudah untuk dibudidayakan, sedangkan sumber minyak nabati dikatakan non potensial karena sulit untuk dibudidayakan.

**Tabel 2.1.** Beberapa sumber minyak nabati yang potensial sebagai bahan baku Biodiesel di Indonesia (Deperind R.I, 2007).

Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak	Isi % Berat Kering	P/ NP
Jarak Pagar	<i>Jatropha Curcas</i>	Inti biji	40-60	P
Jarak Kaliki	<i>Ricinus Communis</i>	Biji	45-50	P
Kacang Suuk	<i>Arachis Hypogea</i>	Biji	35-55	P
Kapok / Randu	<i>Ceiba Pantandra</i>	Biji	24-40	NP
Karet	<i>Hevea Brasiliensis</i>	Biji	40-50	P
Kecipir	<i>Psophocarpus Tetrag</i>	Biji	15-20	P
Kelapa	<i>Cocos Nucifera</i>	Inti biji	60-70	P
Kelor	<i>Moringa Oleifera</i>	Biji	30-49	P
Kemiri	<i>Aleurites Moluccana</i>	Inti biji	57-69	NP
Kusambi	<i>Sleichera Trijuga</i>	Sabut	55-70	NP
Nimba	<i>Azadiruchta Indica</i>	Inti biji	40-50	NP
Saga Utan	<i>Adenantha Pavonina</i>	Inti biji	14-28	P
Sawit	<i>Elais Suincencis</i>	Sabut dan biji	45-70 + 46-54	P
Nyamplung	<i>Callophyllum Lanceatum</i>	Inti biji	40-73	P
Randu Alas	<i>Bombax Malabaricum</i>	Biji	18-26	NP
Sirsak	<i>Annona Muricata</i>	Inti biji	20-30	NP
Sirkaya	<i>Annona Squosa</i>	Biji	15-20	NP

Catatan: P = Potensial, dan NP = Non potensial

Prioritas bahan baku biofuel khususnya di Indonesia berasal dari minyak kelapa sawit (*Palm oil*), minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*), ubi kayu atau singkong (*Cassava*), tanaman tebu (*Sugar cane*) dan Sorgum manis (*sweet shorgum*). Bio-Ethanol digunakan sebagai pengganti Bahan Bakar Minyak (bensin), bahan bakunya adalah dari ubi kayu atau singkong (*Cassava*), tanaman tebu (*Sugar cane*) dan Sorgum manis (*sweet sorghum*). Sedangkan biodiesel akan menjadi pengganti bahan bakar solar, bahan bakunya adalah dari kelapa sawit (*Palm oil*), dan jarak pagar (*Jatropha curcas*) (*Blue Print* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025). Bahan baku biodiesel yang dipilih dalam penelitian ini adalah biodiesel berbasis minyak kelapa sawit.

#### 2.1.4. Minyak Kelapa sawit

Pohon kelapa sawit terdiri dari dua jenis *Arecaceae* atau famili *palma* yang digunakan untuk pertanian komersil dalam pengeluaran minyak kelapa sawit. Jenis pertama yaitu pohon kelapa sawit Afrika, *Elaeis guineensis*, berasal dari Afrika Barat di

antara Angola dan Gambia, adapun jenis yang kedua adalah pohon kelapa sawit Amerika, *Elaeis oleifera*, berasal dari Amerika Tengah dan Amerika Selatan.

Kelapa sawit termasuk tumbuhan pohon. Tingginya dapat mencapai 24 meter. Bunga dan buahnya berupa tandan, serta bercabang banyak. Buahnya kecil dan apabila masak, berwarna merah kehitaman. Daging buahnya padat, dimana daging dan kulit buahnya mengandung minyak. Minyak kelapa sawit tersebut digunakan sebagai bahan minyak goreng, sabun, lilin, maupun sebagai bahan bakar biodiesel. Ampasnya dapat dimanfaatkan untuk makanan ternak, khususnya sebagai salah satu bahan pembuatan makanan ayam. Tempurungnya dapat digunakan sebagai bahan bakar dan arang (Deperind, R.I. 2007). Contoh buah kelapa sawit seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Buah Kelapa sawit (Bernard, Y.B.Y. (2009).

Minyak kelapa sawit dan inti minyak kelapa sawit merupakan susunan dari *fatty acids, esterified*, serta glycerol yang masih banyak lemaknya. Didalam keduanya tinggi serta penuh akan *fatty acids*, antara 50% dan 80% dari masing-masingnya. Minyak kelapa sawit mempunyai 16 nama carbon yang penuh asam lemak palmitic acid berdasarkan dalam minyak kelapa minyak kelapa sawit sebagian besar berisikan *lauric acid* (Deperind, R.I. 2007).

Minyak kelapa sawit diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit dengan kandungan asam lemak yang bervariasi, baik dalam panjang maupun struktur rantai karbonnya. Panjang rantai karbon dari atom karbon minyak kelapa sawit berkisar antara C12-C20. Komposisi asam lemak minyak kelapa sawit sangat menentukan sifat fisik dan kimia dari minyak kelapa sawit. Minyak kelapa sawit dan inti minyak kelapa sawit

merupakan susunan dari *fatty acids*, *esterified*, serta gliserol yang masih banyak lemaknya. Didalam keduanya masing-masing terdapat kandungan *fatty acid* antara 50% dan 80%. Minyak kelapa sawit mempunyai 16 nama carbon yang kaya akan asam lemak *palmitic acid*. Kandungan di dalam minyak kelapa sawit sebagian besar adalah *lauric acid* (Deperind, R.I. 2007).

Secara umum, proses pengolahan minyak sawit dapat menghasilkan 73,5% olein, 21% stearin, 5% *palm fatty acid distillate* (PFAD), dan 0,5% bahan lainnya. Pada umumnya, PFAD digunakan di industri, baik sebagai bahan baku sabun maupun makanan ternak. PFAD memiliki kandungan *free fatty acid* (FFA) sekitar 81,7%, gliserol 14,4%, *squalane* 0,8%, vitamin E 0,5%, sterol 0,4%, dan kandungan lainnya 2,2%. Adapun nilai viskositas beberapa bahan baku biodiesel, terutama viskositas minyak kelapa sawit yaitu sebesar 32 cSt (Pioch, D, *et. al*, 2005), dapat dilihat pada Tabel 2.2.

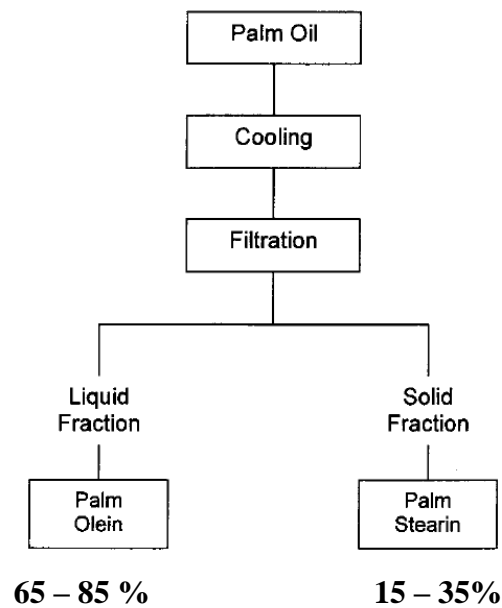
**Tabel 2.2** Sifat bahan bakar solar, minyak kelapa sawit dan metil ester minyak kelapa sawit (Pioch, D, *et. al*, 2005).

	<i>Diesel fuel</i> <sup>a</sup>	<i>Palm oil</i>	<i>Palm methyl ester</i>	<i>Palm ethyl ester</i>
Hydrocarbons (w%)	100	0	0	0
Sulfur content (w%)	1-1.3	0.03	< 0.04	< 0.04
Total acyl glycerols (w%)	0	100	< 1	2.9
Distillation (°C)				
10%	230	-	321-325	336
90%	310-370		340-350	340-350
Flash point (°C)	55-170	219	171-178	-
Heat value (MJ/kg)	42	38	40	39.7
Density (15 °C)	0.81-0.87	0.91	0.87	0.88
Viscosity 40 °C (cSt)	2.8	32	4.3	4.7
Cloud point (°C)	0-19	27-31	16	16
Cetane number	45-50	38-40	55-59	51-56

<sup>a</sup> Spesifikasi bahan bakar diesel berlaku di negara Perancis dan Brazil.



Produk-produk turunan minyak kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel di antaranya *crude palm oil* (CPO), *CPO low grade* (kandungan FFA tinggi), dan *palm fatty acid distillate* (PFAD). Sebelum diolah menjadi biodiesel, CPO membutuhkan proses pemurnian (*degumming*). *Degumming* bertujuan untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor yang terdapat dalam minyak, seperti gum dan fosfatida (APOC, 2007). Proses pemurnian *palm oil* menjadi *Palm Olein* dan *Palm Stearin* seperti pada gambar 2.3.

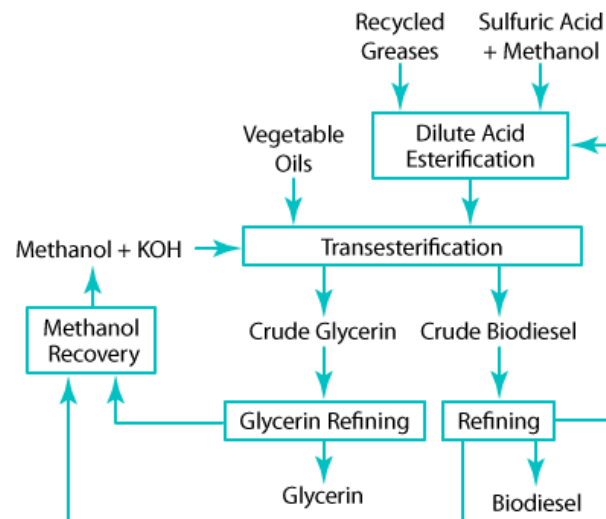


**Gambar 2.3.** Fraksinasi Minyak Sawit (Affandy, M.S.Y. 2007).

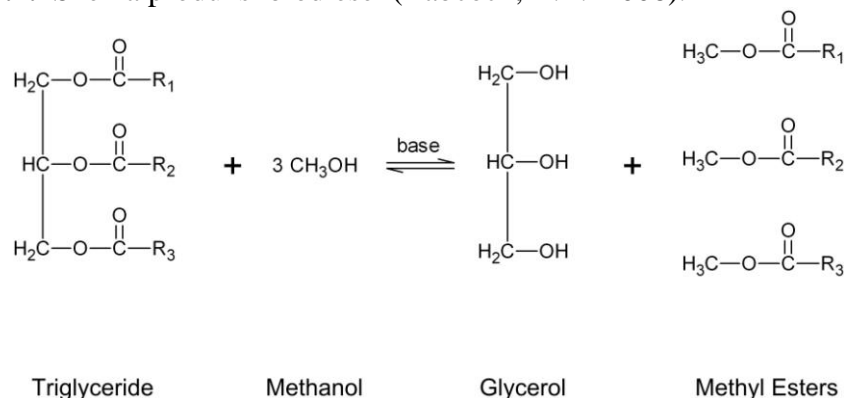
### 2.1.5. Produksi biodiesel

Biodiesel adalah metil ester yang diproduksi dari minyak nabati atau lemak hewani yang memenuhi kualitas untuk digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel (Knothe, G. 2005). Transesterifikasi merupakan metode yang saat ini paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel dari minyak nabati. Pada dasarnya proses transesterifikasi ini bertujuan untuk mengubah [tri, di, mono] gliserida yang mendominasi komposisi minyak kelapa sawit dan berviskositas tinggi menjadi metil ester asam lemak. Skema produksi biodiesel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4, sedangkan dasar dikatalisasi reaksi transesterifikasi seperti pada Gambar 2.5. Proses transesterifikasi bertujuan untuk menurunkan viskositas minyak, sehingga mendekati nilai viskositas solar. Nilai viskositas yang tinggi akan menyulitkan pemompaan/

pemasukan bahan bakar dari tangki ke ruang bahan bakar mesin dan menyebabkan atomisasi lebih sukar terjadi. Hal ini mengakibatkan pembakaran kurang sempurna dan menimbulkan endapan pada nosel (Knothe, G, 2005).



**Gambar.2.4.** Skema produksi biodiesel (Babcock, R.E. 2008).



**Gambar 2.5.** Dasar dikatalisasi reaksi transesterifikasi (Babcock, R.E. 2008).

Salah satu proses pembuatan biodiesel terdiri dari beberapa tahap (Demirbas, A. 2009):

1. Pencampuran Katalis dengan Alkohol  
Pencampuran katalis, umumnya Sodium Hidroksida atau Potassium Hidroksida, dengan alkohol (metanol).
2. Pencampuran Katalis+Alkohol dengan Minyak Nabati.  
Pencampuran dilakukan didalam wadah yang dijaga pada temperatur 40-60°C yang dilengkapi pengaduk dengan kecepatan konstan.

### 3. Pemisahan

Setelah reaksi methanolisis selesai, campuran didiamkan dan perbedaan densitas senyawa di dalam campuran akan mengakibatkan separasi antara metil ester dan gliserol.

### 4. Pembilasan

Biodiesel kemudian dibersihkan menggunakan air distilat untuk memisahkan zat-zat pengotor seperti methanol, sisa-sisa katalis, gliserol. Lebih tingginya densitas air dibandingkan biodiesel menyebabkan pemisahan secara gravitasi pada keduanya. Reaksi biodiesel ditunjukkan dalam katalis kombinasi antara minyak sayuran atau lemak hewan (100 lbs) + metanol atau etanol (10 lbs) menghasilkan biodiesel (100 lbs) + gliserin (10 lbs) (Kegel, G. 2008).

Spesifikasi biodiesel yang akan dimanfaatkan harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, karena standar tersebut dapat memastikan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari reaksi pemrosesan bahan baku minyak nabati sempurna, artinya bebas gliserol, katalis, alkohol dan asam lemak bebas. Sifat metil ester kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Sifat metil ester kelapa sawit (POME) (Udomsap, P. 2008).

<b>Properties</b>	<b>Test Method</b>	<b>Value</b>
Methyl Ester Content (% wt.)	EN 14103	98.86
Density (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D 4052	0.85
Kinematic viscosity at 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D 445	4.52
Flash Point (°C)	ASTM D 93	165.00
Carbon Residue (% wt)	ASTM D 4530	0.01
Water Content (ppm)	ASTM D 6304	335.45
Oxidation Stability (Hour)	EN 14112	11.01
Acid Value (mg KOH/g)	ASTM D 664	0.27
ASTM Color	ASTM D 1500/156	0.80
Gross Heat (MJ/kg)	ASTM D 240	38.20
Cloud Point (°C)	ASTM D 2500	19.40
Pour Point (°C)	ASTM D 97	18.00

### 2.1.6. Spesifikasi Kualitas Biodiesel

Spesifikasi produk biodiesel umumnya mengacu pada standar beberapa negara di dunia, terutama Amerika Serikat melalui *American Society of Testing and Materials* (ASTM) dan Eropa melalui *European Committee for Standardization* (CEN). Spesifikasi ASTM di Amerika tertuang dalam ketentuan ASTM D 6751 mengenai spesifikasi kualitas biodiesel (Tabel 2.4). Sementara di Eropa biodiesel mengacu pada spesifikasi sesuai EN 14214 (Tabel 2.5).

**Tabel 2.4.** Spesifikasi untuk Biodiesel (B100) - ASTM 6751-10 (USA, National Biodiesel Board, 2008).

No	Property	Units	Limits	ASTM Method
1	Calcium & Magnesium, combined	ppm ( $\mu\text{g/g}$ )	5 max	EN 14538
2	Flash Point (closed cup)	$^{\circ}\text{C}$	93 min	D 93
3	Alcohol Control (One of the following must be met) 1. Methanol Content 2. Flash Point	% vol $^{\circ}\text{C}$	0,2 max 130 max	EN14110 D93
4	Water & Sediment	% vol	0,05 max	D 2709
5	Kinematic Viscosity, $40^{\circ}\text{C}$	$\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt)	1,9-6,0	D 445
6	Sulfated Ash	% mass	0,02 max	D 874
7	Sulfur S 15 Grade S 500 Grade	% mass (ppm) % mass (ppm)	0.0015 max (15) 0.05 max. (500)	D 5453 D 5453
8	Copper Strip Corrosion		No. 3 max	D 130
9	Cetane		47 min	D 613
10	Cloud Point	$^{\circ}\text{C}$	report	D 2500
11	Carbon Residue 100% sample	% mass	0.05 max	D 4530*
12	Acid Number	mg-KOH/g	0.50 max	D 664
13	Free Glycerin	% mass	0.020 max	D 6584
14	Total Glycerin	% mass	0.240 max	D 6584
15	Phosphorus Content	% mass	0.001 max	D 4951
16	Distillation, T90 AET	$^{\circ}\text{C}$	360 max	D 1160
17	Sodium/Potassium, combined	ppm	5 max	EN 14538
18	Oxidation Stability	hours	3 min	EN 14112
19	Cold Soak Filtration For use in temperatures below $-12^{\circ}\text{C}$	Seconds seconds	360 max 200 max	Annex to D6751 Annex to D6751

**Tabel 2.5.** Standar Eropa untuk Biodiesel (EN 14214) (*European Committee for Standardization (CEN), 2003*).

No	Property	Unit	Limit		Test Method
			Min	Max	
1	Ester Content	% (mm <sup>-1</sup> )	96.5	-	pr EN 14103
2	Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
3	Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	3.5	5.0	EN ISO 3104
4	Flash point	°C	120	-	ISO/ CD 3679
5	Carbon residue (on 10% distillation residue)	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.3	EN ISO 10370
6	Acid Value	mg-KOH/g	-	0.5	pr EN 14104
7	Cetane Index	-	51.0	-	EN ISO 5165
8	Sulphur content	mg kg <sup>-1</sup>	-	10	-
9	Sulphated ash content	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.02	ISO 3987
10	Water content	mg kg <sup>-1</sup>	-	500	EN ISO 12197
11	Total contamination	mg kg <sup>-1</sup>	-	24	EN 12662
12	Cooper strip corrosion (3 hr at 50°C)	Rating	1	-	EN ISO 2160
13	Oxidation stability, 110°C	hr	6.0	-	pr EN 14112
14	Iodine value	-	-	120	pr EN 14111
15	Linolenic acid methyl ester	% (mm <sup>-1</sup> )	-	12	pr EN 14103
16	Polyunsaturated (≥4 double bonds) methyl ester	% (mm <sup>-1</sup> )	-	1	-
17	Methanol content	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.2	pr EN 14110
18	Monoglyceride content	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.8	pr EN 14105
19	Diglyceride content	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.2	pr EN 14105
20	Triglyceride content	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.2	pr EN 14105
21	Free glycerol	% (mm <sup>-1</sup> )	-	0.02	pr EN 14105 pr EN 15106
22	Total glycerol	% (mm <sup>-1</sup> )	- 0.025		pr EN 14105
23	Alkaline content (Na + K)	mg kg <sup>-1</sup>	-	5	pr EN 14108 pr EN 14109
24	Phosphorus content	mg kg <sup>-1</sup>	-	10	pr EN 14107

Standar ASTM menetapkan bahwa biodiesel adalah bahan bakar yang terdiri dari *mono alkyl ester* dari asam lemak rantai panjang, yang merupakan turunan dari minyak nabati atau lemak hewani (*vegetable oil / animal fat*), sehingga bahan baku minyak

nabati atau lemak hewani yang belum diproses tidak dapat diklasifikasikan sebagai biodiesel.

Pemerintah Indonesia juga menetapkan standar nasional untuk spesifikasi biodiesel, seperti yang tertuang dalam Tabel 2.6 tentang Spesifikasi Biodiesel SNI 04-7182-2006.

**Tabel 2.6.** Spesifikasi Biodiesel sesuai SNI 04-7182-2006 (BSN, Standar Nasional Indonesia, SNI 04-7182-2006).

No	Karakteristik	Unit	Nilai
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m <sup>3</sup>	850-890
2	Viskositas kinematik pada suhu 40°C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3-6,0
3	Angka setana / indeks		min. 51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	min. 100
5	Titik kabut	°C	maks. 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		maks. no 3
7	Residu karbon - dalam contoh asli atau - dalam 10% ampas distilasi	% massa	maks. 0,05 maks. 0,30
8	Air dan sedimen	% vol.	maks. 0,05 <sup>a</sup>
9	Temperatur distilasi 90%	°C	maks. 360
10	Abu tersulfatkan %-massa	% massa	maks. 0,02
11	Belerang ppm-m	mg/kg	maks. 100
12	Fospor ppm-m	mg/kg	maks. 10
13	Angka asam	mg-KOH/g	maks. 0,8
14	Gliserol bebas	% massa	maks. 0,02
15	Gliserol total	% massa	maks. 0,24
16	Kadar ester alkil	% massa	maks. 96,5
17	Angka iodium	% massa (g-I <sub>2</sub> /100 g)	maks. 115
18	Uji Halphen		Negatif

<sup>a</sup> Catatan dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0.01 %-vol

Sedangkan untuk spesifikasi solar, pemerintah Indonesia menetapkan standar berdasarkan SK Dirjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006 seperti ditunjukkan pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7.** Spesifikasi solar sesuai Lampiran II: SK Dirjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006 (SK Dirjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006).

No	Karakteristik	Unit	Super	Reguler
1	Berat jenis pada suhu 15°C	kg/m <sup>3</sup>	820-860	815-870
2	Viskositas kinematik pada suhu 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2.0-4.5	2,0-5,0
3	Angka setana / indeks		≥51/48	≥48-45
4	Titik nyala 40°C	°C	≥55	≥60
5	Titik tuang	°C	≤18	≤18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		≤kelas 1	≤kelas 1
7	Residu karbon	% massa	≤0.30	≤30
8	Kandungan air	mg/kg	≤500	≤50
9	T90/95	°C	≤340/360	<370
10	Stabilitas oksidasi	g/m <sup>3</sup>	≤25	-
11	Sulfur	% m/m	≤0.05	≤0,35
12	Bilangan asam total	mg-KOH/g	≤0,3	≤0,6
13	Kandungan abu	% m/m	≤0,01	≤0,01
14	Kandungan sedimen	>% m/m	≤0,01	≤0,01
15	Kandungan FAME	% m/m	≤10	≤10
16	Kandungan metanol dan etanol <sup>a</sup>	% v/v	Tak terditeksi	Tak terditeksi
17	Partikulat	mg/l	≤10	-

<sup>a</sup> SK Dirjen Migas No. 3675/24/DJM/2006 memperbolehkan penambahan bioetanol sampai dengan 10% (v/v)

### 2.1.7. Karakteristik Biodiesel

Pemakaian biodiesel sebagai bahan bakar memiliki beberapa keuntungan dan kelemahan yang perlu kita pertimbangkan. Sebagai substitusi dari bahan bakar minyak bumi, biodiesel memiliki beberapa keunggulan, terutama angka setana yang lebih tinggi, tingkat emisinya yang meliputi HC, CO, dan SO lebih rendah, *flash point* nya tinggi serta kemampuan pelumasannya sangat baik. Sudah banyak pengujian dan eksperimen tentang bahasan ini, hingga bisa disimpulkan beberapa keuntungan dan kelemahan biodiesel dibandingkan dengan solar adalah sebagai berikut:

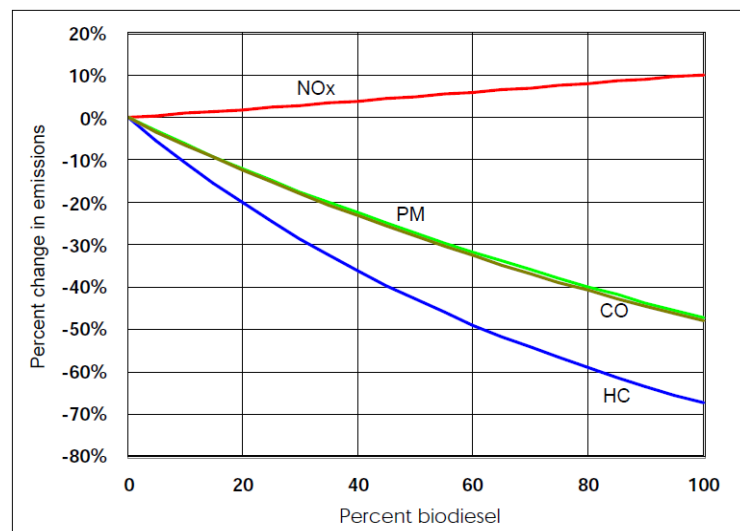
#### 2.1.7.1 Kelebihan biodiesel dibandingkan dengan solar

Biodiesel dipilih sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar, disamping mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan solar, biodiesel mempunyai

beberapa keunggulan dibandingkan dengan solar. Beberapa keunggulan yang dimiliki biodiesel dibandingkan dengan solar antara lain:

### 1. Tingkat emisi gas buang

Untuk biodiesel murni, emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) nya dapat ditekan hingga 73%, emisi methana dapat dikurangi hingga 51%, hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar dapat berkurang sebesar 67%, emisi carbon monoksida (CO) turun 48%, dan sulfur oksid (SO) dapat ditekan hingga 100%, PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) turun 80%, nPAH (nitirasi PAH's) turun 90%, potensi ozon khusus HC turun 50%, serta penurunan limbah dan potensi polusi lingkungan lainnya dibanding dengan solar (USA-National Biodiesel Board, 2008). Dampak emisi rata-rata biodiesel pada emisi gas buang (PM, CO, HC dan  $\text{NO}_x$ ) dibandingkan dengan emisi solar seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Dampak emisi rata-rata biodiesel pada emisi gas buang [PM, CO, HC dan  $\text{NO}_x$ ] dibandingkan dengan emisi solar (US-EPA 420-P-02-001, 2002).

Menurut standar ASTM D975, biodiesel mempunyai 11% massa oksigen dari massa biodiesel yang akan memperbesar kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna. Perbandingan antara kandungan karbon dan hidrogen pada biodiesel juga jauh lebih kecil daripada solar, hal ini berpengaruh pada emisi pembakaran dikarenakan perbandingan kandungan karbon terhadap hidrogen pada bahan bakar yang lebih kecil, kemungkinan atom karbon akan mengikat dua atom oksigen akan semakin besar. Biodiesel akan lebih berkesempatan membentuk



molekul CO<sub>2</sub> daripada CO, dan menghasilkan kandungan emisi SO<sub>2</sub> yang rendah mendekati nol. SO<sub>2</sub> yang biasanya dikenal dengan sulfur dioksida adalah molekul penyebab terjadinya hujan asam atau *smog*. Biodiesel memiliki kandungan sulfur 0,0024% dari massa bahan bakar, dibandingkan solar yang memiliki kandungan sulfur 0,05-0,5% dari massa bahan bakar maka biodiesel memiliki kandungan sulfur yang lebih sedikit.

2. Angka setana (CN) yang lebih tinggi.

Jika kandungan CN terlalu tinggi, pembakaran bisa terjadi sebelum bahan bakar dan udara bercampur dengan baik, sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna/ lengkap dan asap. Jika kandungan CN terlalu rendah, suara mesin kasar, salah pengapian/ *misfiring*, suhu udara yang tinggi, pemanasan mesin lebih lambat, dan juga terjadi pembakaran tidak sempurna. Biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi daripada solar (Knothe, G. 2005).

Angka setana menunjukkan seberapa cepat bahan bakar mesin diesel yang diinjeksikan ke ruang bakar bisa terbakar secara spontan (setelah bercampur dengan udara). Pengertian dari angka setana pada bahan bakar mesin diesel adalah kebalikan dari angka oktan pada bahan bakar mesin bensin, dimana angka oktan menunjukkan kemampuan campuran udara-bensin dalam menunggu pembakaran dari busi (*spark ignition*). Semakin cepat suatu bahan bakar mesin diesel terbakar setelah diinjeksikan ke dalam ruang bakar, semakin baik/ tinggi angka setana bahan bakar tersebut (Knothe, G. 2005).

3. Pada pemakaian Biodiesel B20 dan dibawahnya, tidak diperlukan adanya modifikasi mesin.

4. Efek pelumasan yang lebih tinggi.

Berkurangnya efek pelumasan pada bahan bakar bisa menimbulkan permasalahan pada sistem penyaluran bahan bakar, seperti pada pompa bahan bakar dan injektor. Pengurangan efek pelumasan mengakibatkan terjadinya proses desulfurisasi yang biasanya dilakukan pada bahan bakar solar akibat tuntutan standart solar di berbagai negara. Biodiesel mempunyai kemampuan pelumasan yang lebih baik dibandingkan dengan solar, karena biodiesel memiliki kandungan sulfur yang lebih rendah dibandingkan dengan solar,

dimana kandungan sulfur dari bahan bakar solar yang lebih tinggi akan menurunkan kemampuan pelumasannya.

#### 5. Flash point

*Flash point* adalah titik terbakarnya bahan bakar setelah mencapai tekanan tertentu dalam mesin sehingga terbakar. Biodiesel mempunyai titik bakar yang lebih tinggi dibanding dengan solar sehingga relatif lebih aman, karena biodiesel tidak mudah terbakar.

### 2.1.7.2 Kekurangan biodiesel dibandingkan dengan solar

Disamping memiliki beberapa kelebihan, biodiesel juga memiliki beberapa kekurangan antara lain:

#### 1. Viskositas yang relatif tinggi pada suhu rendah.

Viskositas yang tinggi akan sangat berpengaruh terhadap performa dari mesin, dimana viskositas biodiesel dengan bahan baku minyak kelapa sawit cenderung naik secara signifikan, jika suhunya diturunkan sampai sekitar 10-15°C.

#### 2. Pada konsentrasi campuran biodiesel dengan solar B25–B100, diperlukan adanya modifikasi pada mesin.

#### 3. Menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> yang lebih besar.

Kenaikan maupun penurunan emisi NO<sub>x</sub> dari biodiesel tergantung pada jenis mesin diesel dan prosedur pengujiannya. Emisi NO<sub>x</sub> menyebabkan terbentuknya kabut asap dan ozon lokal. Pada biodiesel murni (100%), emisi NO<sub>x</sub> rata-rata naik sebesar 10 % (USA-National Biodiesel Board, 2008).

#### 4. Mengalami degradasi pada penyimpanan.

Biodiesel bisa mengalami degradasi bila disimpan dalam waktu yang lama pada dengan kondisi tertentu. Degradasi biodiesel pada umumnya disebabkan oleh proses oksidasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi degradasi biodiesel antara lain keberadaan asam lemak tak jenuh, kondisi penyimpanan (tertutup/ terbuka, dan suhu), kandungan unsur logam, dan peroksida. Harga viskositas biodiesel juga dapat dijadikan sebagai ukuran terjadi atau tidaknya proses degradasi pada biodiesel.

##### 5. *Cloud point* dan *pour point*.

*Cloud point* adalah temperatur pada saat bahan bakar mulai tampak “berawan” (*cloudy*). Hal ini timbul karena munculnya kristal-kristal di dalam bahan bakar. Meskipun bahan bakar masih bisa mengalir pada titik awan ini, terbentuknya kristal/ gel di dalam bahan bakar dapat menghambat 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 sudah tidak dapat 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*, dimana dengan terbentuknya kristal bahan bakar akan menghambat aliran bahan bakar melalui filter. Pada umumnya, *cloud point* dan *pour point* biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Hal ini dapat menimbulkan masalah, jika biodiesel digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, 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 suhu rendah. Selain penggunaan aditif sebagai campuran biodiesel, dapat juga dilakukan pencampuran antara biodiesel dan solar. Pencampuran antara biodiesel dan solar terbukti dapat menurunkan *cloud point* dan *pour point* bahan bakar (Knothe, G. 2010).

## 2.2. Viskositas

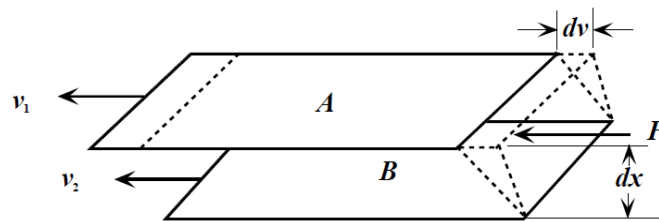
Viskositas merupakan karakteristik fundamental dari fluida. Viskositas adalah ukuran resistensi dari aliran atau geseran fluida, dimana viskositas juga sering disebut sebagai kekuatan tarik dan merupakan ukuran dari sifat gesekan fluida. Viskositas merupakan fungsi temperatur dan tekanan, meskipun viskositas dari fluida berubah dengan berubahnya suhu dan tekanan, tetapi suhu dan tekanan tersebut mempengaruhi viskositas dalam cara yang berbeda. Dalam tesis ini, akan diuraikan

mengenai viskositas dinamik dan viskositas kinematik dari biodiesel, terutama perubahan viskositas sebagai fungsi dari suhu.

Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yang berbeda yaitu:

- a. Viskositas absolut atau dinamis
- b. Viskositas kinematik

Viskositas dinamis adalah gaya tangensial per satuan luas yang dibutuhkan untuk menggeser satu lapisan (A) terhadap lapisan lain (B) ketika dua lapisan dipertahankan pada jarak tertentu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Gaya  $F$  menyebabkan lapisan A dan B untuk meluncur, yang masing-masing dengan kecepatan  $v_1$  dan  $v_2$ .



**Gambar 2.7.** Geseran sederhana sebuah film cair (Viswanath, D.S. 2007).

Karena viskositas fluida didefinisikan sebagai ukuran dari resistensi bagaimana fluida mengalir, dalam bentuk matematis dapat digambarkan sebagai:

Jika  $\sigma$  adalah tegangan geser,  $\dot{\epsilon}$  adalah laju regangan dan  $\eta$  adalah viskositas dinamis, maka persamaan menjadi:

$$\sigma = \eta \dot{\epsilon} \quad (2.1)$$

Laju regangan umumnya dinyatakan sebagai:

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} = \frac{v}{x} \quad (2.2)$$

di mana  $x$  adalah panjang,  $t$  adalah waktu, dan  $\frac{dx}{dt}$  atau  $v$  adalah kecepatan, sehingga viskositas dinamis dapat ditulis sebagai:

$$\eta = \sigma \frac{x}{v} \quad (2.3)$$

Sedangkan viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamis ( $\eta$ ) dengan massa jenis fluida ( $\rho$ ) pada suhu dan tekanan tersebut dan didefinisikan sebagai:

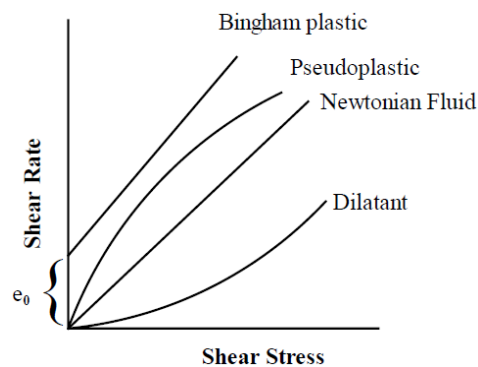
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.4)$$

### 2.2.1. Aliran fluida dan viskositas

Viskositas fluida dibutuhkan untuk pengendalian kualitas proses, sementara bagi para desainer, viskositas fluida dibutuhkan untuk memperbaiki kondisi optimum pada proses kimia dan operasi. Karakteristik aliran dari fluida terutama tergantung pada viskositas dan karakteristik aliran fluida. Karakteristik aliran fluida dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

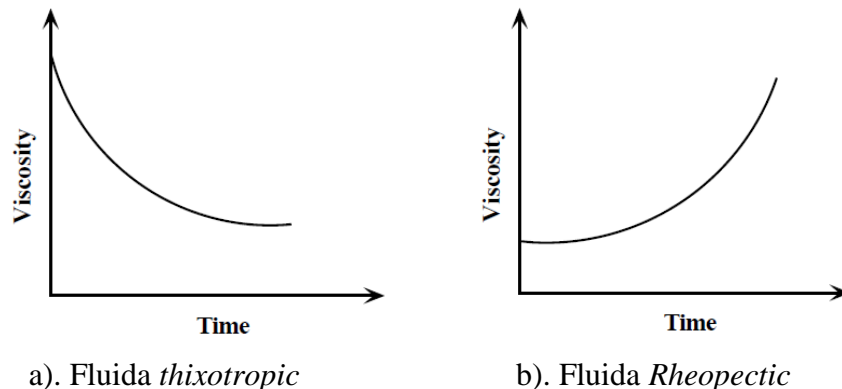
- a). Fluida Newtonian
- b). Fluida Non-Newtonian tidak tergantung pada waktu, dan
- c). Fluida Non-Newtonian tergantung pada waktu.

Ketika viskositas fluida tetap konstan dan independen jika dikenai tegangan geser disebut fluida Newtonian. Dalam kasus fluida Non-Newtonian, viskositas tergantung pada gaya geser yang bekerja dan waktu. Untuk fluida Non-Newtonian yang independen, ketika laju geser bervariasi, tegangan geser tidak bervariasi secara proporsional dan ditunjukkan pada gambar 2.8 adalah jenis fluida Non-Newtonian tidak tergantung pada waktu yang paling umum meliputi, *pseudoplastic* (jenis fluida yang menampilkan penurunan viskositas dengan meningkatnya laju geser dan kadang-kadang disebut geseran-menipis), *dilatant* (fluida jenis ini meningkatkan viskositas fluida dengan meningkatnya laju geser dan juga disebut geseran-penebalan), dan *Bingham plastic* (sejumlah tertentu dari gaya harus dikerjakan pada fluida sebelum aliran diinduksi). *Bingham plastic* adalah agak ideal untuk merepresentasikan bahan secara nyata, dimana laju geser adalah nol, jika tegangan geser kurang dari atau sama dengan tegangan luluh  $e_0$ . Namun jika tegangan geser tidak sama dengan nol, maka laju geser berbanding lurus dengan tegangan geser.



**Gambar 2.8.** Berbagai jenis fluida berdasarkan viskositas (Viswanath, D.S. 2007).

Fluida Non-Newtonian tergantung pada waktu menampilkan perubahan viskositas dengan waktu pada kondisi laju geser konstan. Salah satu jenis fluida yang disebut *Thixotropic* mengalami penurunan viskositas dengan waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9a). Jenis lain dari fluida Non-Newtonian tergantung pada waktu disebut *Rheopectic* (gambar 2.9.b), dimana viskositas fluida *rheopectic* meningkat seiring dengan waktu dengan laju konstan.

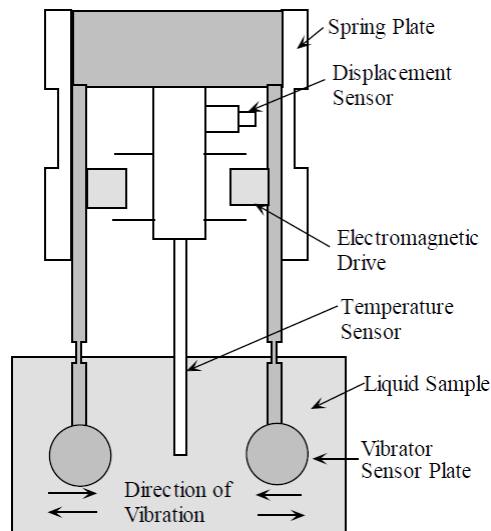


**Gambar 2.9.** Perubahan viskositas fluida Non-Newtonian tergantung pada waktu (Viswanath, D.S, 2007).

### 2.2.2. Teknologi garpu tala (*Tuning Fork*)

Alat ukur viskositas jenis getaran dirancang berdasarkan teknologi garpu tala yang mampu mengukur secara simultan, baik untuk mengukur viskositas maupun densitas fluida secara akurat dan independen. Teknologi garpu tala yang dirancang khusus untuk pengukuran viskositas hidrokarbon secara kontinyu dilakukan dengan menentukan *bandwidth* dan frekuensi resonansi garpu tala; dimana *bandwidth*

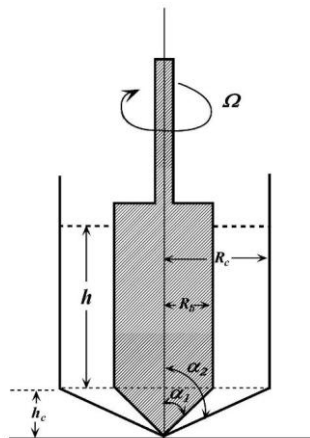
memberikan pengukuran viskositas sementara frekuensi memberikan pengukuran densitas fluida (gambar 2.10). Sebuah sensor suhu dapat dengan mudah dipasang pada instrumen untuk pengukuran suhu. Selain itu, parameter lain seperti gradien gravitasi viskositas dan indeks pengapian untuk bahan bakar minyak dapat dihitung.



**Gambar. 2.10.** Diagram skematik viskometer yang dirancang berdasarkan teknologi garpu tala (Viswanath, D.S, 2007).

### 2.2.3. *Cone-Cylinder Viscometer*

*Cone-Cylinder Viscometer* merupakan modifikasi dari viskometer silinder koaksial untuk menghilangkan efek akhir sebanyak mungkin. Gambar. 2.11 menunjukkan skematis dari *Cone-Cylinder Viscometer*. Keuntungan dari *Cone-Cylinder Viscometer* adalah bahwa laju geser rata-rata dalam konus silinder dan bagian kerucut adalah sama. Geometri *Cone-cylinder* adalah paling baik untuk mengukur viskositas dan laju geser.



**Gambar 2.11.** *Cone-Cylinder Viscometer* (Viswanath, D.S. 2007).

### 2.3. Peningkatan Sifat Aliran Suhu Rendah

Bahan bakar biodiesel, jika digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel pada suhu rendah, akan rentan saat *start-up* dan mempengaruhi performa mesin. Jika bahan bakar biodiesel berada pada suhu rendah untuk waktu yang lama (misalnya semalam), akan terbentuk kristal lilin padat yang dapat menyebabkan masalah *start-up* dan kinerja mesin pada keesokan harinya. (Dunn, R.O. 2005). Salah satu masalah utama yang terkait dengan penggunaan biodiesel, adalah sifat yang relatif miskin pada suhu rendah (Knothe, G. 2010), sehingga perlu dilakukan upaya untuk peningkatan sifat aliran suhu rendah khusus untuk biodiesel. Bentuk kristal dari metil ester asam lemak (*Fatty Acid Methyl Esther*) yang disingkat FAME murni seperti ditunjukkan pada gambar 2.12 a–d.

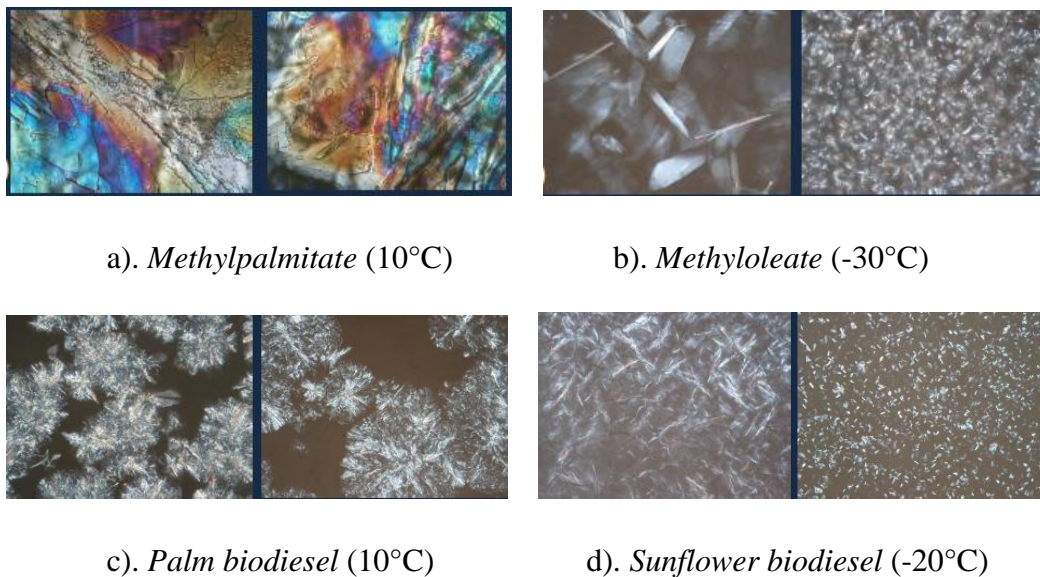
Perilaku kristalisasi biodiesel terutama ditentukan oleh:

1. profil asam lemak (ketidak jenuhan dan panjang rantai)
2. adanya kandungan kontaminan kecil
3. penyumbatan pada filter bahan bakar

Aditif komersil sebagai campuran biodiesel untuk meningkatkan aliran suhu rendah mengandung sifat komponen yang biasanya kopolimer vinil asetat ethylene atau kopolimer olefin-ester. Sebuah bahan kimia dari aditif yang biasanya digunakan untuk biodiesel berbasis miyak kedelai adalah ester milan stirena, *polymethacrylate* dan vinil asetat, sedangkan *ethylene* digunakan untuk biodiesel dari bahan baku lain (Knothe, G.



2005). Efektivitas dari aditif komersial aliran suhu rendah juga dapat berubah secara dramatis tergantung pada jenis bahan baku dari biodiesel.



**Gambar 2.12.** Bentuk kristal FAME murni (Kegel, G. *et. al*, 2009).

Ada 5 (lima) solusi sebagai pendekatan untuk meningkatkan sifat aliran suhu rendah biodiesel, meliputi:

1. pencampuran antara biodiesel dengan solar atau dilusi dengan hidrokarbon (Knothe, G., 2010);
2. penggunaan aditif yang dapat meningkatkan sifat aliran suhu rendah (Smith, P.C. *et al*, 2010);
3. modifikasi fisik yang terdiri dari:
  - a. modifikasi proses transesterifikasi,
  - b. emulsifikasi, dan
  - c. pirolisis atau *cracking thermal* (Balat, M. 2008).
4. Fraksiasi (Knothe, G. 2010); dan
5. Modifikasi bahan baku (Winterisasi) (Smith, P.C. *et al*, 2010).

### **2.3.1 Pencampuran dengan solar atau dilusi dengan hidrokarbon**

Biodiesel dapat beradaptasi dengan berbagai penggunaan karena dapat dicampur dengan solar dalam berbagai konsentrasi yang berbeda. Biodiesel dapat diaplikasikan baik dalam bentuk 100% biodiesel yang disebut B100 atau biodiesel dicampur dengan bahan bakar solar pada tingkat konsentrasi tertentu (BXX) (Knothe, G. 2005).

Campuran biodiesel dikategorikan oleh persen biodiesel dalam campuran. Sistem, yang disebut "faktor B" bekerja sebagai berikut:

- a. B5: mengandung 5 persen biodiesel, 95 persen solar
- b. B10: mengandung 10 persen biodiesel, 90 persen solar
- c. B20: mengandung 20 persen biodiesel, 80 persen solar
- d. B99 : mengandung 99 persen biodiesel, 1 persen solar
- e. B100: adalah biodiesel murni

Biodiesel yang paling umum digunakan adalah campuran B20, dimana campuran B20 adalah memenuhi persyaratan peraturan bagi kendaraan sesuai dengan Undang-Undang Kebijakan Energi (US-EPA) Tahun 1992 dan *Executive Order* 13423 (USA-National Biodiesel Board, 2008).

### **2.3.2 Penggunaan aditif yang dapat meningkatkan sifat aliran suhu rendah**

Untuk meningkatkan sifat aliran pada suhu rendah, pencampuran antara biodiesel dengan aditif merupakan pendekatan yang paling umum. Namun aditif yang dijual secara komersil, biasanya secara khusus hanya diperuntukkan untuk biodiesel dari bahan baku tertentu, seperti aditif komersil khusus hanya untuk biodiesel minyak kelapa sawit, aditif komersil khusus hanya untuk biodiesel minyak kedelai dan sebagainya. Pencampuran aditif pada biodiesel dapat dilakukan dengan menggunakan aditif generik maupun aditif komersil.

#### **2.3.2.1 Aditif generik**

Berbagai aditif generik dapat digunakan untuk dicampur dengan biodiesel dalam rangka meningkatkan aliran suhu rendah. Aditif generik tersebut antara lain:

1. Diesohol, (Cheenkachorn, K., 2004)
2. Diethyl ether:  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$  ( Kannan, T.K., 2010);
3. Ethanol (D.H. Qi., 2010)
4. Methanol (Knothe, G., 2010)
5. Wortel, jeruk nipis (Eddy, N.O. 2007).
6. Gossypol (Joshi, H. *et al*, 2010)

Sebuah penelitian eksperimen yang dilakukan oleh Selim, M.Y.E. (2009), yaitu menggunakan dua pendekatan pengujian untuk mengurangi viskositas bahan bakar *Jojoba methyl ester*, dimana sifat bahan bakar *Jojoba methyl ester* (JME) dan diethyl ether (DDE) ditunjukkan dalam tabel 2.8.

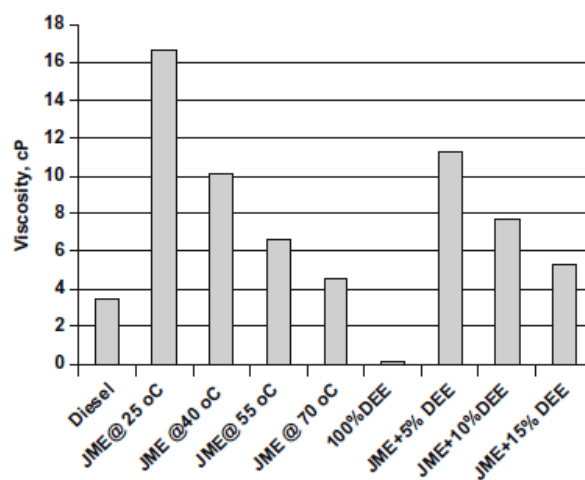
**Tabel.2.8.** Sifat bahan bakar *Jojoba Methyl Ester* dan diethyl ether (Selim, M.Y.E., 2009).

<b>Karakteristik</b>	<b>Biodiesel Minyak Jojoba</b>	<b>Diethyl Ether (DDE)</b>
Density (15 °C), kg/l	0.866	0.713
Kinematic viscosity at 40 °C, cSt.	19.2	0.23
Calorific value, MJ/kg	47.38	33.9
Cetane no.	63.5	>125
Carbon content % by weight	87	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
Hydrogen content % by weight	13	-
Final boiling point, °C	383	34.4
Auto-ignition temperature, °C	NA	160

Pendekatan pertama adalah pemanasan bahan bakar pada variasi suhu 40, 50 dan 70°C dibandingkan dengan suhu lingkungan dan solar. Pendekatan kedua adalah menambahkan bahan aditif generik diethyl ether (aditif untuk menurunkan viskositas) ke dalam biodiesel minyak jojoba dengan konsentrasi bervariasi mulai 5%, 10% dan 15% dari massa, dimana viskositas *Jojoba methyl ester* (JME) adalah 16,6 cSt pada suhu 40°C.

Efek penambahan diethyl ether ke biodiesel minyak jojoba serta memanaskan biodiesel minyak jojoba untuk mengurangi viskositas dapat dilihat pada gambar.2.13.

Biodiesel minyak jojoba dipanaskan dari 25°C (kondisi atmosfer) pada variasi suhu 40, 55 dan 70°C, dan viskositas dinamis diukur. Pada gambar 2.13 dapat dilihat bahwa pemanasan dari suhu 25 sampai 70°C, viskositas biodiesel minyak jojoba dapat menurun dari 16,6 cP menjadi 4,59 cP. Aditif generik diethyl ether dipilih karena viskositas yang sangat rendah (viskositas DDE sebesar 0,18 cP) dan dicampur dengan biodiesel minyak jojoba dengan konsentrasi sebesar 5, 10 dan 15%. Hasil pengujian viskositas campuran biodiesel dan diethyl ether ditampilkan pada gambar 2.13 dan dibandingkan dengan proses pemanasan serta bahan bakar solar.



Gambar.2.13. Viskositas *Jojoba methyl ester* (JME) dengan pemanasan dan penambahan aditif generik diethyl ether (DEE) (Selim, M.Y.E., 2009).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menambahkan 5% diethyl ether (DDE) menyebabkan viskositas menurun dari 16,6 cP menjadi 11,3 cP, menambahkan 10% DEE mengurangi viskositas hingga 7,7 cP dan 15% DDE menurun ke 5,3 cP. Kedua metode pengujian penurunan viskositas telah terbukti sukses untuk mengurangi viskositas *Jojoba methyl ester* (JME) sehingga nilai viskositas dalam rentang yang dapat diterima sebagai bahan bakar mesin diesel.

Dalam penelitian Sivalakshmi, S. *et al*, 2010, penambahan aditif generik diethyl ether (DEE) pada biodiesel minyak jarak pagar (JOME) tampaknya merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk mengurangi emisi, khususnya emisi NO<sub>x</sub> atau jelaga, emisi partikulat, dan juga penurunan viskositas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan aditif generik diethyl ether pada biodiesel minyak jarak

pagar dapat menurunkan emisi NO<sub>x</sub> secara signifikan terutama untuk penambahan DEE lebih dari 10% vol dan sedikit penurunan asap dibandingkan dengan biodiesel JOME murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan aditif generik diethyl ether 15% vol pada biodiesel JOME memberikan performa dan karakteristik emisi yang lebih baik (Sivalakshmi, S. *et al*, 2010).

D.H. Qi. *et al*, (2011), melakukan penelitian secara eksperimental penambahan aditif generik diethyl ether dan etanol terhadap kinerja mesin, emisi dan karakteristik mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran biodiesel-solar. Campuran biodiesel-diethyl ether-solar (BE-1: volume diethyl ether 5%, biodiesel 25% dan solar 70%) dan campuran biodiesel-ethanol-solar (BE-2: volume etanol 5%, biodiesel 25% dan solar 70% diesel), menunjukkan stabilitas yang lebih baik dan dapat digunakan dalam mesin diesel tanpa modifikasi apapun. Konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) untuk BE-1 sedikit lebih rendah, dan diketahui bahwa BE-2 hampir mirip dengan B30. BE-1 dan BE-2, memiliki kandungan oksigen lebih tinggi daripada B30, hal ini menunjukkan kemampuan yang sangat baik untuk menghilangkan emisi asap, khususnya pada beban mesin tinggi. Alasan utama mungkin karena volatilitas diethyl ether dan etanol yang lebih tinggi yang mempercepat kecepatan pencampuran udara-bahan bakar, meningkatkan proses pembakaran dan meningkatkan efisiensi pembakaran.

### **2.3.2.2 Aditif komersil**

Berbagai aditif komersil yang dirancang khusus untuk bahan bakar mesin diesel dapat digunakan untuk dicampur dengan biodiesel untuk menurunkan viskositas pada aliran suhu rendah (Pope, D.N. 2009). Aditif komersil telah banyak tersedia, khususnya di negara-negara yang beriklim dingin. Di Indonesia juga telah dipasarkan untuk beberapa merk aditif. Beberapa aditif komersil meliputi:

1. *Viscoplex 10-330 Cold Flow Improvers*, buatan Rohmax, Jerman  
(<http://www.rohmax.com>, Mei 2011)
2. *AMSOIL Diesel Cold Flow Improver* buatan AMSOIL, USA  
([www.amsoil.com](http://www.amsoil.com), Mei 2011)

3. *Infineum Cold Flow Improvers* buatan *Exxon Mobil Corporation*, United Kingdom ([www.Infineum.com](http://www.Infineum.com), Mei 2011)
4. *Wynn's Diesel Pro™ Diesel fuel Detergent and Lubricity additive*, USA ([www.wynnsusa.com](http://www.wynnsusa.com), Mei 2011)
5. *V Plus Biofuel Additive*, buatan Longma, Rotherwas, Hereford ([www.longma.co.uk](http://www.longma.co.uk), Mei 2011).
6. *Chemiphase Cold Flow 350 and Bioboost 1000*, buatan Chemiphase International, United Kingdom ([www.chemiphase.co.uk](http://www.chemiphase.co.uk), Mei 2011)
7. *MMT® Fuel Additive*, buatan Afton Chemical, USA ([www.aftonchemical.com](http://www.aftonchemical.com), Mei 2011)
8. *Wintron XC30*, buatan *Biofuel Systems Group Limited*, England, ([www.biofuelsystems.com](http://www.biofuelsystems.com), Mei 2011)
9. *DiesoLIFT™ BD-3*, buatan International Fuel Technology, USA ([www.internationalfuel.com](http://www.internationalfuel.com), Mei 2011)
10. *Winter 1000®* buatan Stanadyne Corporation, USA ([www.stanadyne.com](http://www.stanadyne.com), Mei 2011)

Biodiesel minyak kelapa sawit (POME) mulai membentuk kristal/ gel pada suhu 19,4°C, dan tidak dapat mengalir sama sekali pada suhu dibawah 18°C, dimana kristal/ gel dari biodiesel akan menyumbat filter bahan bakar, saluran bahan bakar dan injektor bahan bakar pada mesin diesel (Udomsap, P. *et al*, 2008).

Aditif *Cold Flow Improver* dapat digunakan untuk menurunkan titik tuang. Sebagian besar aditif berfungsi untuk modifikasi kristal, misalnya mengurangi ukuran dan bentuk kristal biodiesel. Penelitian yang dilakukan oleh Udomsap, P. *et al*, 2008, dengan berbagai konsentrasi dari empat aditif komersial (dengan konsentrasi 0,1; 0,5; 1 dan 5% vol) yang diuji dicampur dengan biodiesel kelapa sawit murni seperti ditunjukkan pada tabel 2.9. Pengujian dilakukan pada campuran biodiesel dengan solar (B80), seperti ditunjukkan pada tabel 2.10.

**Tabel 2.9.** Titik tuang biodiesel minyak kelapa sawit murni (Udomsap, P. *et al*, 2008).

No	Tipe Aditif	Kosentrasi Campuran (%)	Titik Tuang (°C)
1	Additive OFI-7650	0.1	17.0
		0.5	17.0
		1	16.0
		5	15.0
2	Additive FA205	0.1	17.0
		0.5	14.0
3	Additive CH6830	0.1	17.0
		0.5	17.0
4	Additive D	0.1	17.0
		0.5	15.0

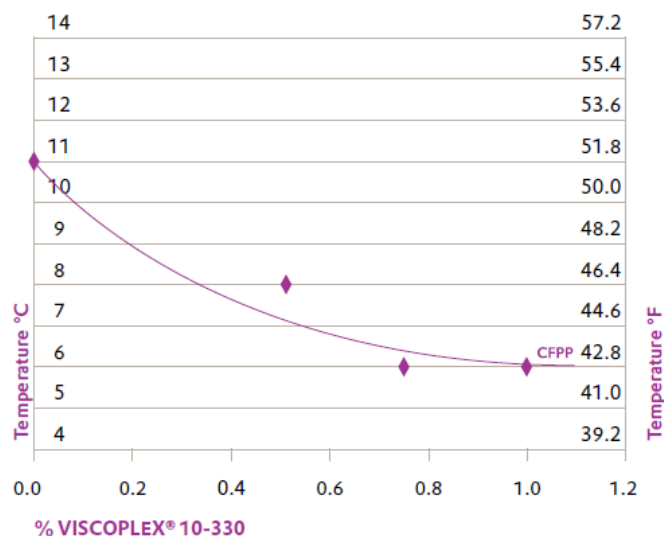
**Tabel 2.10.** Titik tuang campuran solar dengan metil ester stearin kelapa sawit (B80) dengan empat aditif (Udomsap, P. *et al*, 2008).

No	Tipe aditif dan campuran B80	Kosentrasi Campuran (% vol)	Titik Tuang (°C)
1	Tanpa aditif		14,0
2	Additive OFI-7650	1	12,0
3	Additive FA205	1	12,0
4	Additive CH6830	1	13,0
5	Additive D	1	12,0

Demikian pula, pencampuran aditif 1% vol, dapat menurunkan titik tuang beberapa derajat. Hasil penelitian Udomsap, P. *et al*, 2008, menyatakan lebih lanjut bahwa untuk peningkatan sifat aliran suhu rendah, aditif peningkatan aliran suhu rendah dapat digunakan, namun aditif komersil yang tersedia jika dicampur dengan biodiesel dari bahan baku yang lain, akan tidak efektif jika digunakan untuk biodiesel kelapa sawit.

Viscoplex 10-330 *Cold Flow Improver* (CFI) dirancang untuk mengontrol pembentukan kristal lilin biodiesel dari berbagai sumber bahan baku biodiesel, sehingga memiliki kinerja yang sangat baik pada aliran suhu rendah. Viscoplex 10-330 CFI dapat digunakan pada kosentrasi campuran dengan biodiesel sebesar 0,5% - 1% untuk meningkatkan titik penyumbatan filter dingin (CFPP) - (DIN EN 116), titik tuang (PP) (ASTM D97) dan titik awan (CP). Hasil pengujian titik penyumbatan filter dingin

(CFPP) dari aditif Viscoplox 10-330 CFI dicampur dengan biodiesel POME seperti ditunjukkan pada gambar 2.14. (Viscoplex 10-330 Cold Flow Improvers, 2011).



**Gambar 2.14.** Hasil pengujian Titik Penyumbatan Filter Dingin (CFPP) untuk aditif Viscoplex 10-330 CFI dicampur biodiesel POME (Viscoplex Cold Flow Improvers, 2011).

Manfaat penggunaan Viscoplex 10-330 CFI dapat:

1. meningkatkan titik penyumbatan filter dingin (CFPP) biodiesel B100 dari sumber bahan baku yang berbeda, seperti biodiesel minyak kedelai (SME), biodiesel *Rapeseed* (RME), atau biodiesel minyak kelapa sawit (POME);
2. meningkatkan sifat biodiesel pada suhu rendah, dan meminimalkan terbentuknya sedimentasi;
3. pencampuran FAME dengan baik akan meningkatkan kinerja pada suhu rendah sehingga memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan; dan
4. meningkatkan CFPP campuran biodiesel (SME, RME, POME) dengan solar, sehingga memperbesar rentang rasio campuran (B5, B10, B15, dan B20) yang memenuhi spesifikasi bahan bakar yang diperlukan.

### 2.3.3 Modifikasi fisik

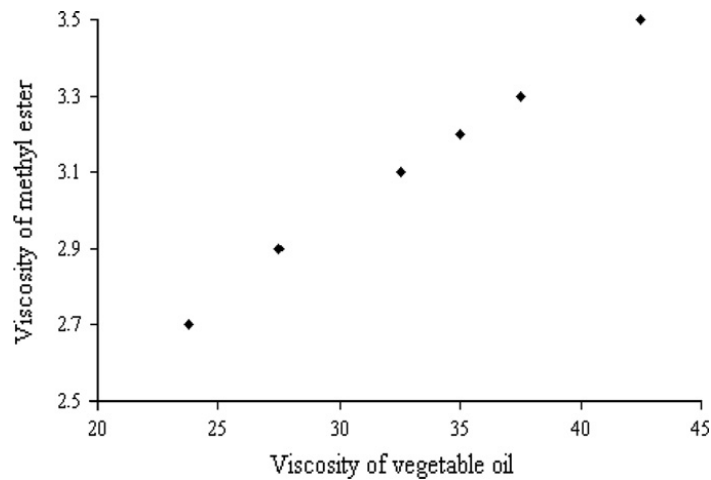
Viskositas minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel pada saat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, dapat diturunkan dengan cara modifikasi fisik yang meliputi:

- a). Modifikasi transesterifikasi,



- b). emulsifikasi, dan
- c). pirolisis atau *thermal cracking*.

Viskositas minyak nabati dan biodiesel dapat dilihat pada pada gambar. 2.15.

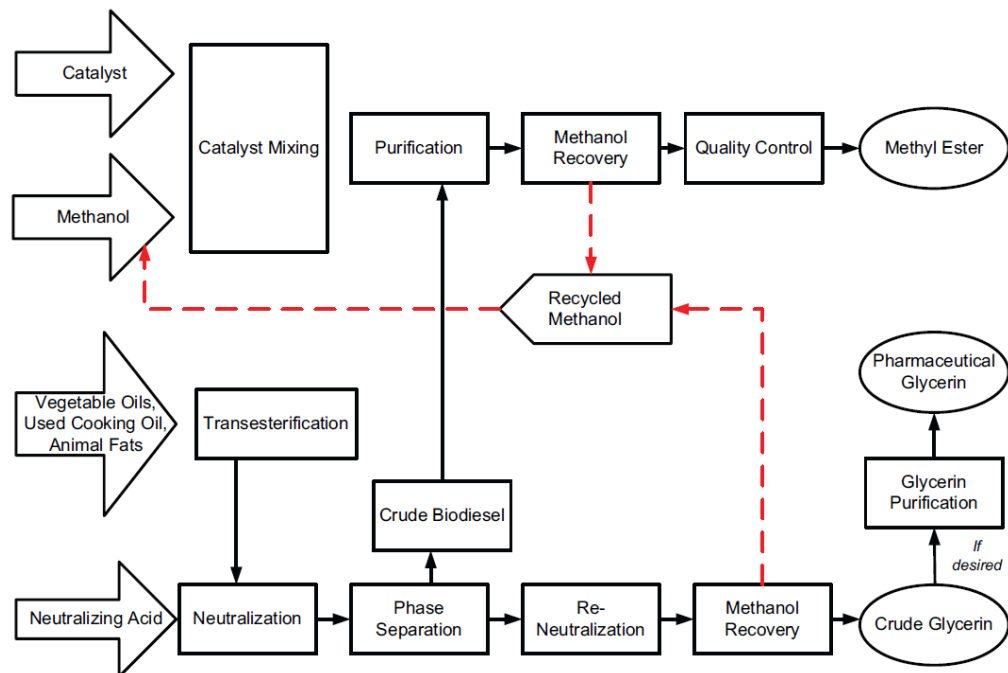


**Gambar. 2.15.** Viskositas minyak nabati dan metil ester atau biodiesel (mm<sup>2</sup>/ s) pada suhu 38°C. (Balat, M. 2008).

- a) Modifikasi transesterifikasi (*alcoholysis*)

Metode transesterifikasi adalah metode yang paling umum dan menyebabkan *mono alkyl ester* dari minyak nabati dan lemak hewani, yang sekarang disebut dengan biodiesel. Transesterifikasi adalah reaksi minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol, dalam kebanyakan kasus menggunakan metanol, untuk membentuk ester dan gliserol. Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh jenis alkohol, rasio molar dari gliserida-alkohol, jenis dan jumlah katalis, suhu reaksi, waktu reaksi, dan kandungan asam lemak bebas dan air pada minyak nabati atau lemak hewani. Transesterifikasi tersebut merupakan reaksi berlanjut dengan atau tanpa katalis dengan menggunakan alkohol monohidrat primer atau sekunder yang memiliki 1-8 atom karbon seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Umumnya, suhu reaksi dianjurkan mendekati titik didih alkohol. Namun demikian, reaksi dapat dilakukan pada suhu kamar. Reaksi berlangsung pada suhu rendah 65°C dan pada tekanan rendah 2 atm (dimana 1 atm = 101,325 kPa). Selanjutnya biodiesel dimurnikan dengan cara mencuci dan penguapan untuk menghilangkan metanol yang tersisa. Minyak (87%), alkohol

(9%), dan katalis (1%) akan menghasilkan produksi biodiesel (86%), sebagai hasil utama. Skema produksi biodiesel ditunjukkan pada gambar 2.16.



**Gambar 2.16.** Skema produksi biodiesel (U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy, 2009).

*Pra-treatment* tidak diperlukan jika reaksi dilakukan di bawah tekanan tinggi (9000 kPa) dan suhu tinggi (240°C), dimana secara simultan proses esterifikasi dan transesterifikasi dapat berlangsung dengan hasil yang maksimum pada suhu berkisar antara 60 sampai 80°C dan pada rasio molar 6:0. Alkohol yang digunakan pada proses transesterifikasi tersebut umumnya alkohol rantai pendek seperti metanol, etanol, propanol, dan butanol. Dimana ketika transesterifikasi minyak nabati menggunakan metanol, etanol dan butanol dilakukan, 96-98% ester bisa diperoleh setelah reaksi selama 1 jam (Balat, M. 2008).

#### b) Emulsifikasi (mikro-emulsi)

Mikro-emulsi atau campuran dari berbagai minyak nabati dengan bahan bakar solar telah diusulkan sebagai alternatif bahan bakar untuk mesin diesel. Mikro-emulsi isotropik, bersih atau dispersi koloid yang stabil secara termodinamis dari

minyak, air, surfaktan, dan sedikit molekul *amphiphilic*, yang disebut co-surfaktan. Pembentukan mikro-emulsi (*cosolvency*) adalah salah satu dari empat solusi untuk menurunkan viskositas minyak nabati. Mikro-emulsi didefinisikan sebagai transparansi, dispersi koloid yang stabil secara termodinamis, dimana diameter pada fase penyebaran partikel kurang dari 1/4 panjang gelombang cahaya. Mikro-emulsi berbasis bahan bakar kadang-kadang juga disebut "bahan bakar hibrida", meskipun campuran bahan bakar solar dengan minyak nabati juga telah disebut bahan bakar hibrida (Balat, M. 2008).

c) Pirolisis atau *thermal cracking*

Proses pirolisis ini mengacu pada perubahan kimia yang disebabkan oleh aplikasi energi termal dengan adanya hembusan udara atau nitrogen. Pirolisis lemak telah diteliti selama lebih dari 100 tahun, terutama di negara-negara di dunia yang kekurangan cadangan minyak.

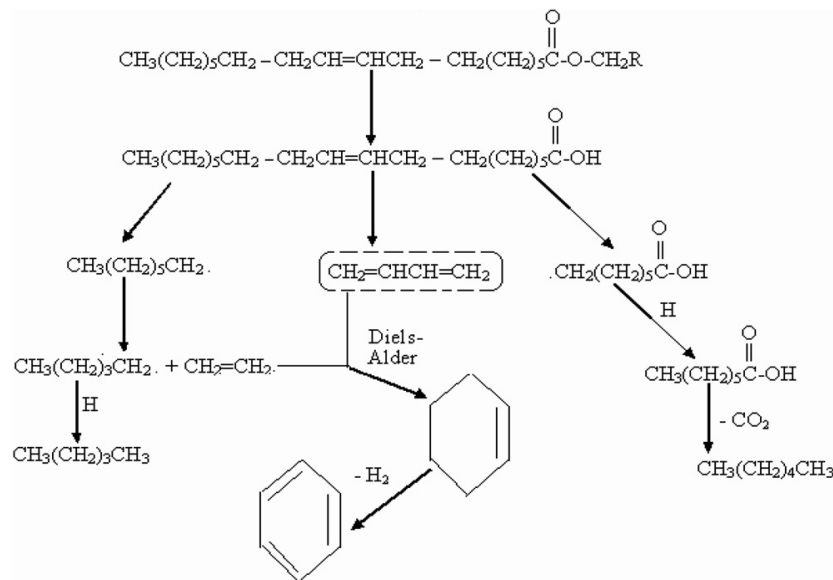
**Tabel 2.11.** Hasil dari pirolisis minyak nabati (persen berat) (Balat, M. 2008).

No	Kandungan	Asam oleic tinggi dari bunga salf		Minyak kedelai	
		N2	Udara	N2	Udara
1	Alkana	37,5	40,9	31,1	29,9
2	Alkana	22,2	22,0	28,3	24,9
3	Alkadiena	8,1	13,0	9,4	10,9
4	Asam karbosilik	11,5	176,1	12,2	9,6
5	Belum terpecahkan <i>unsaturated</i>	9,7	10,1	5,5	5,1
6	Aromatik	2,3	2,2	2,3	1,9
7	Tidak teridentifikasi	8,7	12,7	10,9	12,6

Sebagai contoh, sebuah sistem pencucian pirolisis minyak tung (*tung oil pyrolysis batch system*) yang digunakan di Cina sebagai bahan bakar selama perang dunia ke-dua. Hidrokarbon hasil proses pirolisis ini digunakan sebagai

bahan baku untuk produksi bahan bakar bensin dan solar dalam sistem *cracking* yang mirip dengan proses produksi minyak bumi yang digunakan sekarang. Hasil dari pirolisis minyak nabati seperti ditunjukkan pada Tabel 2.11. Dekomposisi termal senyawa trigliserida menghasilkan alkana, alkena, alkadiena, aromatik dan asam karbosiklik. Berbagai jenis minyak nabati yang diproduksi dengan skala besar terdapat perbedaan komposisi dari dekomposisi termal minyak.

Gambar 2.17 memperlihatkan skema dari pembentukan alkana, alkena, alkadiena, aromatik dan asam karbosiklik dari pirolisis trigliserida. Komponen utama adalah alkana dan alkena yaitu sekitar 60% dari kandungan berat total, dan lainnya adalah asam karbosiklik sekitar 9,6-16,1% (Balat, M. 2008).



**Gambar 2.17.** Mekanisme dekomposisi termal trigliserida (Balat, M. 2008).

### 2.3.4 Modifikasi biodiesel (Fraksinasi)

Proses fraksinasi adalah untuk menghilangkan cairan ester lemak jenuh yang lebih banyak pada proses produksi biodiesel untuk meningkatkan sifat aliran suhu rendah. Namun, hal ini dapat menurunkan stabilitas oksidasi dengan adanya ester lemak tak jenuh yang lebih banyak dalam biodiesel, dan memiliki angka setana ester lemak jenuh yang lebih tinggi dibanding ester lemak tak jenuh (Knothe, G. 2010).

Sebuah metode fisik untuk memodifikasi sifat aliran suhu rendah dari biodiesel adalah dengan fraksinasi kristalisasi yang merupakan proses yang mirip dengan winterisasi. Fraksinasi kristalisasi biodiesel terdiri dari fraksinasi kering dan fraksinasi pelarut (basah). Fraksinasi kering merupakan metode fraksinasi yang paling sederhana yaitu proses pelelehan kristalisasi biodiesel tanpa penambahan pelarut, namun merupakan metode yang paling mahal. Sebagai contoh yaitu fraksinasi kering biodiesel minyak kedelai dalam waktu 84 jam untuk menghasilkan produk dengan 5,5% berat ester jenuh dan suhu kristalisasi 10,8 K (-262,2°C) yang lebih rendah daripada produksi biodiesel non-fraksinasi. Hasil cair hanya 25,5% dari jumlah awal metal ester minyak kedelai. Sebaliknya, fraksinasi kering metil ester minyak jelantah dapat menurunkan Titik Penyumbatan Filter Dingin (CFPP) dari -1°C menjadi -5°C. Hal ini disertai dengan berkurangnya hasil produksi biodiesel sebesar 30 sampai 100% tergantung pada kondisi fraksinasi.

Keuntungan fraksinasi pelarut (basah) dibandingkan dengan fraksinasi kering adalah dapat menurunkan suhu pembentukan kristalisasi, tetapi kelemahannya adalah tingkat keselamatan menjadi berkurang dan biaya meningkat. Proses ekstraksi hexana dilakukan dalam sekali langkah dengan waktu 3,5-6,5 jam untuk biodiesel minyak kedelai dengan efisiensi sebesar 78,4% dan titik awan (CP) sebesar -10°C. Sebuah proses serupa dengan menggunakan isopropanol menghasilkan titik awan (CP) yang serupa tetapi penurunan kandungan metil ester relatif kecil pada kondisi jenuh. Penelitian fraksinasi lainnya yaitu dengan menggunakan berbagai pelarut, termasuk metanol, aseton, kloroform, dan etanol, dengan kesuksesan yang terbatas (Smith, P.C. *et al.* 2010).

### **2.3.5 Modifikasi bahan baku (Winterisasi)**

Winterisasi adalah metode untuk memisahkan fraksi minyak dengan gliserol dalam waktu dan suhu tertentu. Sebuah teknik winterisasi biodiesel minyak kedelai yang dilakukan selama 7 hari pada suhu -10°C yang dilakukan oleh Dunn, R.O. *et al.* (2010), dapat menurunkan titik tuang (PP) menjadi sebesar -16°C, tetapi mengakibatkan berkurangnya sekitar 75% dari jumlah biodiesel minyak kedelai. Kerugian materi C16:0

menjadi menurun sebesar 3%, sedangkan materi C18:3 menjadi meningkat hampir setengahnya. Hasil penelitian ditemukan bahwa sebagian kecil dari metil ester rantai panjang keadaan jenuh pada proses winterisasi biodiesel minyak kedelai memiliki efek pada sifat aliran suhu rendah.

Campuran metil oleat 26,0% (C18:1), linoleat 68,3% (C18:2) dan 5,7% metil linolenate (C18:3) berdasarkan berat pada biodiesel minyak kedelai dapat menurunkan titik awan (CP) menjadi  $-23^{\circ}\text{C}$  dan titik tuang menurun menjadi (PP)  $-48^{\circ}\text{C}$ . Penurunan titik awan dan titik tuang ini terjadi pada suhu proses winterisasi antara 7 sampai 32 K ( $-266^{\circ}\text{C}$  sampai  $-241^{\circ}\text{C}$ ), bahwa dari proses transesterifikasi winterisasi biodiesel minyak kedelai hanya mengandung 5,6% berdasarkan berat dari metil ester jenuh, namun penghapusan sebagian besar produk biodiesel akan menjadi penghalang dalam produksi skala besar dengan menggunakan fraksinasi winterisasi.

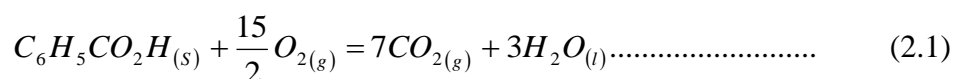
#### **2.4. Nilai Kalor dan *Bomb Calorimeter***

Nilai kalor dari bahan bakar merupakan ukuran dari panas reaksi pada volume konstan dan keadaan standar untuk pembakaran sempurna 1 mol bahan bakar (Heywood, J.B. 1988). Nilai kalor menunjukkan energi kalor yang dikandung tiap satuan massa bahan bakar. Nilai kalor dibagi menjadi dua kategori yaitu nilai kalor atas (*Higher Heating value/ HHV*) dan nilai kalor bawah (*Lower Heating Value/ LHV*).

1. Nilai kalor atas (HHV) adalah pengukuran nilai kalor suatu unsur pada keadaan semua uap air yang terbentuk saat pembakaran telah terkondensasi. Sehingga dalam hal ini pengukuran nilai kalor termasuk kalor-laten penguapan uap air.
2. Nilai kalor bawah (LHV) adalah pengukuran nilai kalor suatu unsur pada keadaan uap air masih pada fase uap (Heywood, J.B. 1988).

Untuk dapat mengetahui nilai kalor bahan bakar cair maupun padat yaitu dengan cara membakar bahan bakar tersebut pada kondisi tekanan oksigen tertentu dengan volume konstan pada *bomb calorimeter* sesuai standar ASTM.

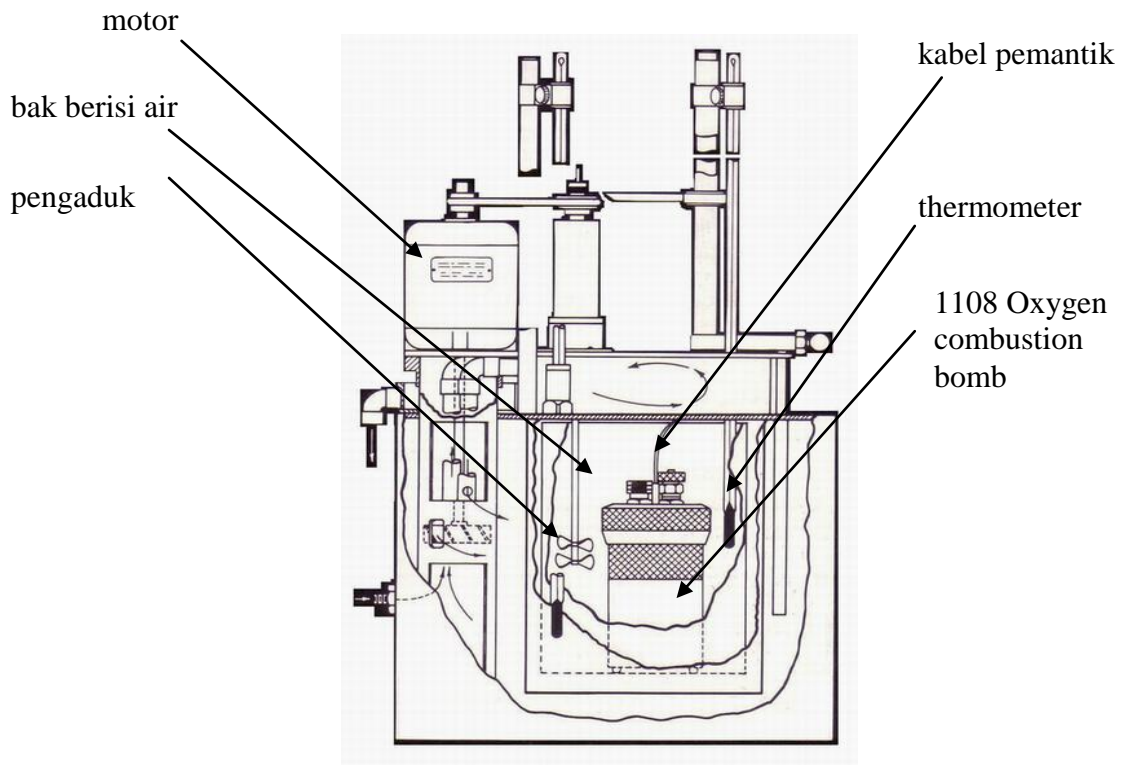
*Bomb Calorimeter* merupakan suatu alat atau wadah tertutup yang dapat menahan tekanan gas dan suhu yang tinggi, tanpa mengalami pengikisan atau kerusakan di bagian-bagiannya. Bahan yang ingin diketahui nilai kalor pembentukannya diledakan dalam *bomb* tersebut, setelah sebelumnya sekeliling *bomb* tersebut kondisinya sudah dijaga agar tetap sama dengan yang ada di dalam *bomb*. Hal ini dimaksudkan agar tidak ada energi yang hilang akibat adanya perbedaan suhu di dalam dan di luar *bomb*. Setelah *bomb* diledakan, maka akan terjadi perubahan suhu di dalam *bomb*. Perubahan suhu awal dan akhir dari *bomb* setelah 6 menit perlu dicatat. Perubahan enthalpi pembakaran standart dari suatu bahan  $\Delta H_T^0$  terjadi pada saat bahan tersebut bereaksi dengan oksigen sehingga membentuk produk pembakaran. Semua reaktan dan produk yang dihasilkan oleh proses tersebut berada pada keadaan standar dan pada suhu T tertentu. Sebagai contoh, untuk enthalpi pembakaran *benzoid acid* pada 298,15 K (25,15°C) adalah  $\Delta H_{298,15}$  untuk proses:



dengan reaktan dan produk berada pada keadaan standar untuk suhu T tertentu. Enthalpi pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan kenaikan suhu yang terjadi, yang merupakan hasil dari adanya reaksi pembakaran pada kondisi adiabatik di dalam kalorimeter. Sangatlah penting agar dijaga bahwa proses pembakaran yang terjadi adalah sempurna. Bahan yang akan diuji dimasukan ke dalam *bomb* dan diberi tekanan antara 30 sampai 40 atm. Besarnya tekanan tersebut tergantung pada kemampuan *bomb*.

Pada jaket-adiabatik *bomb* kalorimeter, 1108 *oxygen combustion bomb* (Gambar 2.18) dimasukan ke dalam suatu ember berisi air murni sampai tenggelam yang sudah dilengkapi dengan termometer. Susunan ini juga berada di dalam suatu jaket yang sudah di isi oleh air.

Sebelum dan sesudah terjadi pembakaran, suhu jaket tersebut dijaga agar tetap sama dengan suhu air yang ada di dalam ember. Jika suhu keduanya sama dengan akurasi yang mencukupi, sekitar 0,02°C, antara ember dengan isinya dianggap tidak ada perpindahan energi keluar maupun ke dalam kaleng, sehingga disebut adiabatik.



**Gambar 2.18.** Rangkaian 1108 *oxygen combustion bomb* dalam *Controlled Jacket Calorimetry* (1108 Model *oxygen combustion bomb*, 1986).

Dalam *bomb calorimeter* tersebut, proses yang terjadi tidak sama dengan yang ada pada pembakaran standar yang sudah di jelaskan pada contoh-contoh sebelumnya. Pada proses aktual di kalorimeter, suhu awal dan akhir pembakaran tidaklah sama, dengan produk dan reaktan tidak dalam kondisi standard.

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energi adalah kekal, dan hanya bisa berubah dari energi yang satu menjadi energi yang lain.

$$\Delta U = q - w \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan  $\Delta U$  = perubahan energi dalam dari sistem

$q$  = transfer energi dalam bentuk panas ke dalam sistem

$-w$  = kerja yang dilakukan sistem



Hukum termodinamika (persamaan 2.2) dapat diaplikasikan pada proses aktual kalorimeter, yang diasumsikan berlangsung dalam kondisi adiabatik ( $q=0$ ). Pada proses yang dilakukan dalam eksperimen menggunakan *bomb calorimeter*,  $-w$ , yang merupakan kerja yang dilakukan oleh pengaduk dianggap sangat kecil (diabaikan), sehingga persamaan (2.2) di atas menjadi:

$$\Delta U_c = 0 \dots\dots\dots (2.3)$$

Karena perubahan energi tidak terpengaruh oleh prosesnya, hanya keadaan awal dan akhir yang ditinjau, maka:

$$\Delta U_c = \Delta U_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} C dT \dots\dots\dots (2.4)$$

karena perubahan suhu sangat kecil, kita dapat menganggap  $C$  konstan, sehingga integral di atas menjadi sama dengan  $C(T_2-T_1)$ . Sehingga :

$$\Delta U_{T_1} = -C(T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.5)$$

perubahan enthalpi standar  $\Delta H_{T_1}^0$  selanjutnya dapat diketahui. Dari definisi dari  $H$ , kita akan mendapatkan:

$$\Delta H_{T_1}^0 = \Delta U_{T_1}^0 + \Delta(PV) \dots\dots\dots (2.6)$$

untuk gas ideal suku  $\Delta(PV)$  akan menjadi  $(n_2 - n_1) RT$ , sehingga didapat:

$$\Delta(PV) = (n_2 - n_1) RT \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan,  $n_2$  = jumlah mol produk yang berbentuk gas

$n_1$  = jumlah mol reaktan yang berbentuk gas

Jumlah energi yang dibutuhkan untuk meledakan bahan pada kalorimeter disebut dengan panas pembakaran, yang mewakili energi yang dihasilkan oleh bahan pada saat terbakar. Secara teori semua energi yang dihasilkan pada saat pembakaran dipakai untuk memanaskan lingkungan sekitar (air) dan kalor dari reaksi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = m_{H_2O} C_{p,H_2O} \Delta T_{H_2O} = m_{\text{bahan}} \Delta H_{\text{pembakaran bahan}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Meskipun demikian, masih ada sumber kalor yang lain selain kalor dari bahan tersebut, seperti kawat yang ikut terbakar dan reaksi susulan yang menghasilkan asam

sulfur dan asam nitrat. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kalor pembakaran kotor ( $H_g$ ), adalah:

$$H_g = \frac{tW - e1 - e2 - e3}{m} \dots\dots\dots (2.9)$$

$t$  = *net corrected temperatur size*

= temperatur equilibrium akhir – temperatur pada saat bom diledakan

$W$  = energi ekuivalen dari kalorimeter

$e_1$  = koreksi untuk panas pembentukan asam nitrat dalam kalori

= mililiter campuran alkali 0.0709 N digunakan pada titrasi

$e_2$  = koreksi untuk panas pembakaran dari kawat dalam kalori

= 2.3 (cal/cm) x panjang kawat (parr 45C10) terbakar (cm)

$e_3$  = koreksi untuk panas pembentukan asam sulfur dalam kalori

Sedangkan untuk mengetahui energi ekuivalen dari kalorimeter yaitu menggunakan bahan yang sudah diketahui nilai kalornya dengan menggunakan persamaan:

$$W = \frac{H.m + e1 + e2}{t} \dots\dots\dots (2.10)$$

$H$  = kalor pembakaran bahan yang sudah diketahui

$e_1$  = koreksi untuk kalor pembentukan asam nitrat dalam kalori

= mililiter campuran alkali 0.0709 N digunakan pada titrasi

$e_2$  = koreksi untuk kalor pembakaran dari kawat dalam kalori

= 2.3 (cal/cm) x panjang kawat (parr 45C10) terbakar (cm)

Bahan yang digunakan sebagai acuan nilai standar adalah *benzoid acid*, yang memiliki nilai kalor sebesar 6318 cal/gr (Parr 1421 model, OIM, 1986).

Dari setiap pengujian nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter*, variabel yang didapat adalah perbedaan suhu awal (kondisi stabil) dan suhu akhir yang tertinggi setelah pembakaran bahan yang diuji. Selanjutnya dilakukan metode titrasi untuk mengetahui koreksi dari kalor pembentukan asam nitrat dan asam sulfur.

Jika  $H_g$  adalah perubahan dari energi dalam dan dapat dituliskan sebagai  $\Delta U_{T_1}^0$  dan  $\Delta E$ , sehingga persamaan perubahan entalpi pembakaran menjadi:

$$\Delta H = H_g + RT\Delta n_{gas} \dots\dots\dots(2.11)$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Untuk memperoleh data hasil pengujian, dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan yang meliputi pengujian viskositas dan pengujian nilai kalor dari campuran biodiesel minyak kelapa sawit (POME) dengan aditif yang masing-masing dilakukan secara eksperimen. Aditif yang digunakan sebagai campuran biodiesel meliputi aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI. Tahap pertama adalah pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif menggunakan Rheometer yang dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor. Adapun tahap kedua yaitu pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif menggunakan Bom Kalorimeter yang dilakukan di laboratorium Thermofluid, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang.

Untuk mencapai tujuan penelitian, kegiatan penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yang meliputi:

1. Persiapan bahan
2. Uji viskositas campuran biodiesel dengan aditif
3. Uji nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif

#### **3.1. Persiapan Bahan**

Bahan yang digunakan dalam pengujian viskositas maupun pengujian nilai kalor adalah sama yaitu:

1. Biodiesel minyak kelapa sawit (POME) buatan SBRC, IPB, Bogor.
2. Aditif generik diethyl ether, buatan Merck, Jerman.
3. Aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI, buatan Rohmax, Jerman.
4. Mencampur biodiesel minyak kelapa sawit dengan aditif.

### 3.1.1 Biodiesel minyak kelapa sawit

Biodiesel yang digunakan dalam penelitian ini adalah biodiesel berbasis minyak kelapa sawit (POME) buatan SBRC, Institut Pertanian Bogor. Adapun contoh biodiesel berbasis minyak kelapa sawit yang dimaksud seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Biodiesel berbasis minyak kelapa sawit (POME).

Agar biodiesel dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar mesin diesel, maka sifat-sifat biodiesel diuji. Standar sifat-sifat biodiesel dan pengujiannya ditetapkan dengan ASTM D6751. Sifat-sifat biodiesel yang diuji meliputi:

1. Viskositas dinamis biodiesel dalam cP (centiPoise)
2. Nilai kalor pembakaran biodiesel dalam cal/kg

Karena tidak dilakukan pengujian terhadap nilai massa jenis/ densitas biodiesel, maka nilai massa jenis biodiesel diambil dari standar biodiesel di Indonesia SNI 04-7182-2006 yaitu sebesar  $0,890 \text{ kg/m}^3$ . Peralatan untuk pengujian viskositas dinamis menggunakan Rheometer, sedangkan peralatan untuk pengujian nilai kalor menggunakan Bom Kalorimeter. Pengujian viskositas dinamis maupun pengujian nilai kalor, yang merupakan bagian dari penelitian ini, akan diuraikan pada paragraf selanjutnya.

### 3.1.2 Aditif generik diethyl ether

Aditif generik yang dipilih dalam penelitian ini adalah diethyl ether dengan rumus kimia  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ , buatan Merck, Jerman, No. Seri: 100923 seperti ditunjukkan pada gambar 3.2, diperoleh dari PT. Indolab Karya Sahati, Semarang yang dijual secara komersil. Adapun data kimia dari diethyl ether diperlihatkan pada Tabel 3.1.



a). Cairan diethyl ether      b). diethyl ether kemasan 5 liter

**Gambar 3.2.** a). Cairan diethyl ether dan b). Kemasan diethyl ether volume 5 liter, buatan Merck, Jerman, No. Seri: 100923 (Merck, Seri: 100923 diethyl ether, 2009).

Tabel 3.1. Data kimia dan fisika dari diethyl ether buatan Merck, Jerman (Merck, Seri: 100923 diethyl ether, 2009).

No	Parameter	Nilai
1	Grade	ACS,ISO,Reag. Ph Eur
2	Rumus kimia	$C_4H_{10}O$
3	Formulasi kimia	$(C_2H_5)_2O$
4	Kode HS	2909 11 00
5	Nomor EC	200-467-2
6	Massa molar	74.12 g/mol
7	Nomor indeks EC	603-022-00-4
8	Nomor CAS	60-29-7
9	Temperatur penyalaan	180°C
10	Kelarutan di dalam air	69 g/l (20°C)
11	Titik leleh	-116.3°C
12	Massa molar	74.12 g/mol
13	Densitas	0.71 g/cm <sup>3</sup>
14	Titik didih	34.6 °C (1013 hPa)
15	Tekanan uap	587 hPa (20°C)
16	Batasan ledakan	1.7 - 36 %(V)
17	Titik nyala	-40°C
18	Nilai kalor	8096,32 cal/gr*
19	Viskositas kinematik	0,32 cSt pada 40°C **

\* Data nilai kalor diethyl ether diperoleh dari Kannan, T.K. *et. al*, (2010).

\*\*Data viskositas kinematik diethyl ether diperoleh dari Selim, Y.M.E, (2009).

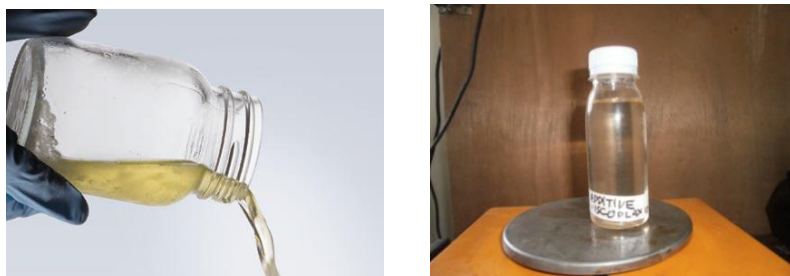
Adapun komposisi campuran aditif generik diethyl ether pada biodiesel seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2.** Komposisi campuran biodiesel dengan aditif generik diethyl ether

Konsentrasi Aditif Generik Diethyl Ether (%)	Volume Aditif Generik Diethyl Ether (ml)	Volume Biodiesel (ml)
0,25	0,04	15,996
0,50	0,08	15,992
0,75	0,12	15,988
1	0,16	15,984
1,25	0,20	15,980

### 3.1.3 Aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI

Aditif komersil yang digunakan yaitu Viscoplex 10-330 CFI, buatan Rohmax, Jerman (Viscoplex Cold Flow Improver, 2010) yang diperoleh dari Titian Abadi Lestari Indonesia, Jakarta, seperti ditunjukkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI (Viscoplex 10-330 CFI, 2009).

Adapun komposisi campuran aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI pada biodiesel seperti ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3.** Komposisi campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI

Konsentrasi Aditif Komersil Viscoplex 10-330 CFI (%)	Volume Aditif Komersil Viscoplex 10-330 CFI (ml)	Volume Biodiesel (ml)
0,25	0,04	15,996
0,50	0,08	15,992
0,75	0,12	15,988
1	0,16	15,984
1,25	0,20	15,980

### 3.1.4. Pencampuran Biodiesel dengan Aditif

Sebelum dilakukan pengujian untuk menentukan viskositas dan nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI), mula-mula perlu dilakukan pencampuran antara biodiesel dengan aditif untuk mengetahui sifat campuran antara biodiesel dengan aditif. Sifat ini juga yang menentukan kualitas dari bahan bakar campuran nantinya. Biodiesel yang baik adalah biodiesel yang memiliki sifat pencampuran yang merata dimana tidak terjadi pemisahan antara aditif dengan biodiesel. Biodiesel yang tidak dapat tercampur secara merata akan terpisah di bagian bawah dan aditif di bagian atas.



**Gambar 3.4.** Sampel a). Campuran biodiesel dengan aditif generik diethyl ether b). Campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI.

Gambar 3.4.a) memperlihatkan sampel pencampuran antara biodiesel dengan aditif generik diethyl ether dengan komposisi campuran seperti ditunjukkan pada tabel 3.2, sedangkan gambar 3.4.b) memperlihatkan pencampuran antara biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI dengan komposisi campuran seperti ditunjukkan pada tabel 3.3. Dikarenakan nilai viskositas kinematik aditif generik diethyl ether sangat



rendah yaitu sebesar  $0,32 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt) pada  $20^\circ\text{C}$  (Kannan, T.K. *et. al*, 2010), maka untuk mendapatkan campuran yang homogen antara biodiesel dengan aditif generik diethyl ether hanya dalam waktu beberapa menit saja. Demikian pula untuk mendapatkan campuran yang homogen antara biodiesel minyak kelapa sawit dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI yang memiliki viskositas  $94,7 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt) pada  $40^\circ\text{C}$  (Viscoplex Additive, 2009), maka dibutuhkan waktu yang lebih lama.

Pencampuran yang tidak homogen antara biodiesel dan aditif akan mengakibatkan pelaksanaan penelitian yang tidak baik sehingga hasil uji sifat dari campuran biodiesel dan aditif juga tidak akurat.

### **3.2. Uji Viskositas Campuran Biodiesel dengan Aditif**

Dalam penelitian ini, aditif yang digunakan sebagai campuran biodiesel terdiri dari dua aditif yaitu aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI. Ke dua aditif sebagai campuran biodiesel, masing-masing dengan variasi konsentrasi campuran yang sama yaitu: 0,0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; dan 1,25% berdasarkan volume. Viskositas campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330-CFI) diukur menggunakan Rheometer dengan variasi perubahan suhu mulai dari 40; 35; 30; 15; 10; 5; dan  $0^\circ\text{C}$  (suhu mulai dari  $40^\circ\text{C}$  didinginkan sampai kondisi membeku). Sebelum dilakukan pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif, perlu dilakukan kalibrasi alat uji Rheometer terlebih dahulu dalam keadaan tanpa beban dengan tujuan agar alat uji Rheometer dapat berfungsi secara baik yang ditunjukkan oleh besarnya nilai koreksi yang dihasilkan.

#### **3.2.1 Peralatan Pengujian Viskositas Biodiesel**

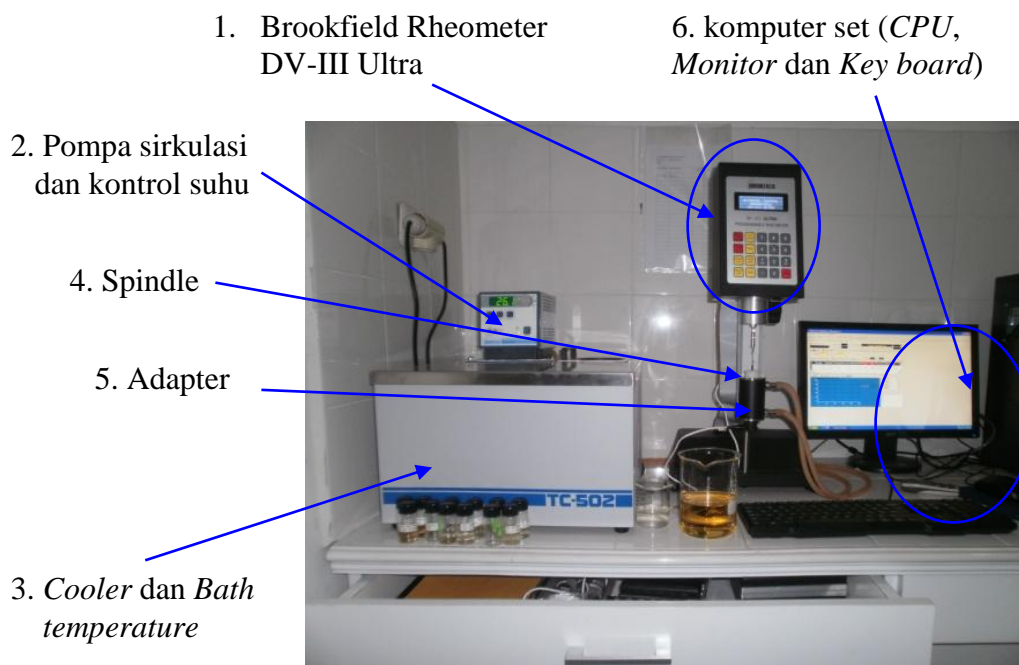
Peralatan utama untuk melakukan pengujian viskositas biodiesel adalah Rheometer milik Laboratorium Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor. Peralatan yang digunakan untuk pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif terdiri dari:

1. Rheometer set yang dilengkapi dengan *cooler* dan *heater*
2. Timbangan massa
3. Gelas ukur dan
4. Sпит

### 3.2.1.1 Rheometer set

Brookfield Rheometer DV-III Ultra adalah alat untuk mengukur parameter tegangan geser dan viskositas fluida. Satu set alat ukur Rheometer Brookfield DV-III Ultra seperti ditunjukkan pada gambar 3.5, terdiri dari beberapa bagian utama yang meliputi:

1. Brookfield Rheometer DV-III Ultra
2. Pompa sirkulasi
3. *Cooler* dan *Bath temperature*
4. *Spindle* (satu set terdiri dari tujuh buah spindel seri LV)
5. Adaptor
6. Komputer set (*CPU, Monitor, Key board, dan Software Rheocalc*)
7. Bahan-bahan standar



**Gambar 3.5.** Brookfield Rheometer D V-III Ultra (Brookfield Rheometer D V-III Ultra, OIM, 2009).

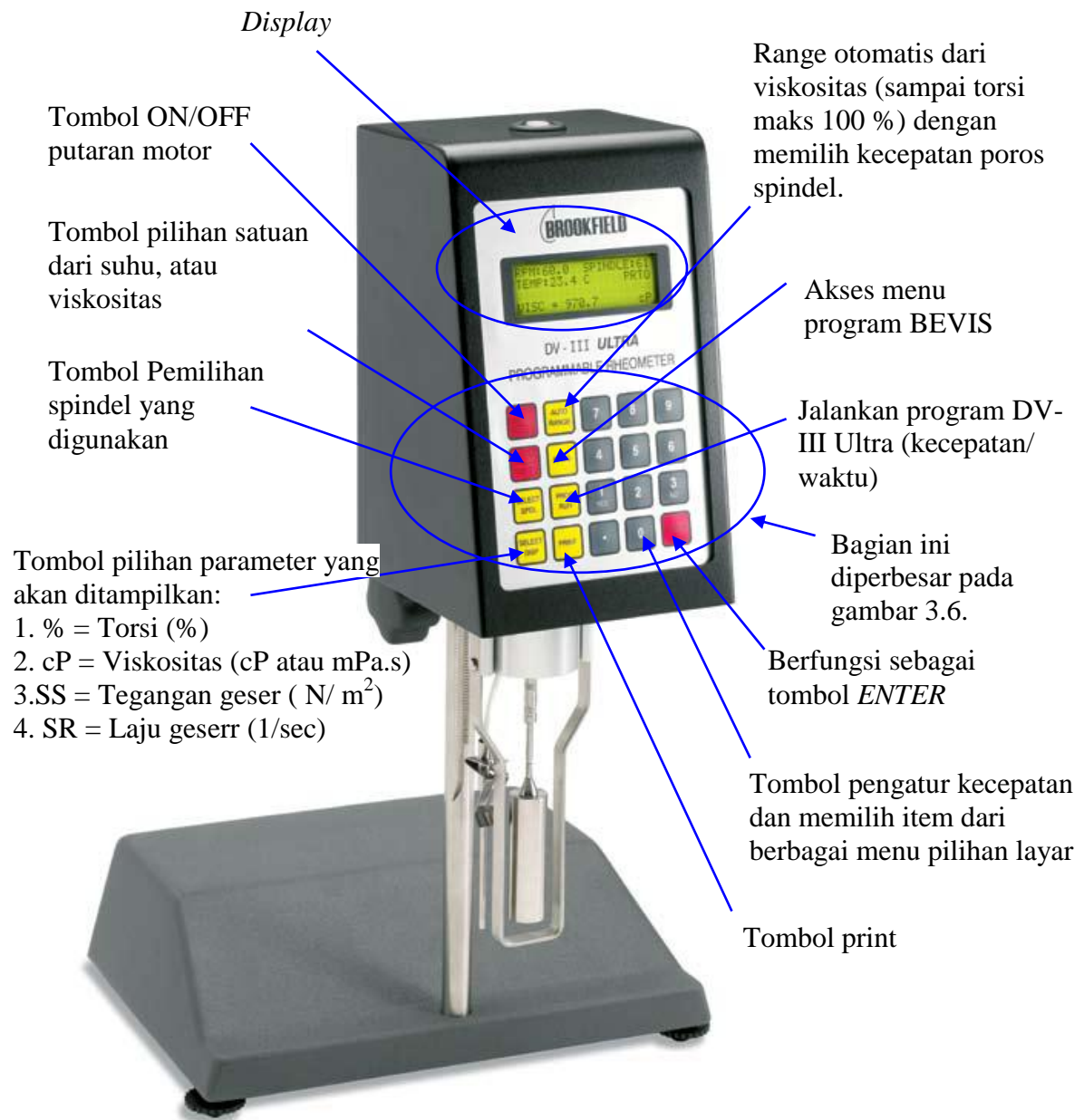
### 3.2.1.1.1 Brookfield Rheometer DV-III Ultra

Spesifikasi dari peralatan Brookfield Rheometer DV-III Ultra yang digunakan dalam penelitian ini seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4. Viskositas adalah ukuran resistensi suatu aliran fluida dengan prinsip putaran.

Tabel 3.4 Spesifikasi dari Brookfield Rheometer DV-III Ultra (Brookfield Rheometer DV-III Ultra, OIM, 2009).

No	Model Specifications	TC-502D
1	Manufacture	BROOKFIELD
2	Temperature Range	-20° to 150°C
3	Temperature Stability	± 0.05°C
4	Readout Accuracy	± 0.5°C
5	Heater	1100 Watts for 115V models, 1600 Watts for 240V models
6	Reservoir Volumes	6 liters
7	Pump Speeds	2-speed - 9 liters per minute or 15 liters per minute
8	Over-Temp Protection	Yes, user-adjustable
9	Dimensions l x w x h	15¾ x 18¾ x 17 in. 40 x 47.6 x 43.2 cm
10	Unit Weights	Gross Weight: 15.9 kg Net Weight: 14.5 kg
11	Power Requirement 60Hz	10A @ 115V / 1 / 60Hz (105V - 125V)
12	Power Requirement 50Hz	5A @ 240V / 1 / 50Hz (200V - 260V)
13	Viscosity Accuracy	± 1.0% of full scale range for a specific spindle running at a specific speed
14	Analog Torque Output	0 - 1 Volt DC (0 - 100% torque)
15	Analog Temperature Output	0 - 4 Volts DC (10mv / °C)
16	Speed Ranges for viscosity tests	0.01-250 RPM, 0.01 RPM increments from 0.01 to 0.99 RPM, 0.1 RPM increments from 1.0 to 250 RPM
17	Operating Environment	0 °C to 40 °C temperature range (32°F to 104°F) 20% - 80% R.H: non-condensing atmosphere

Prinsip kerja dari Rheometer yaitu dengan menghitung torsi yang dibutuhkan untuk merotasi *spindle* didalam suatu fluida. *Spindle* digerakkan oleh motor melalui suatu *calibrated spring*, defleksi pegas diindikasikan oleh *display digital*.



**Gambar. 3.6.** Tombol-tombol perintah Rheometer DV-III Ultra (Brokfield Rheometer DV-III Ultra, OIM, 2009).

Dengan menggunakan berbagai variasi transmisi kecepatan dan *spindle* yang dapat diganti-ganti disesuaikan dengan kebutuhan pengujian, maka viskositas fluida dalam berbagai *range* dapat diukur. Tahanan viskos atau tahanan alir adalah proporsional

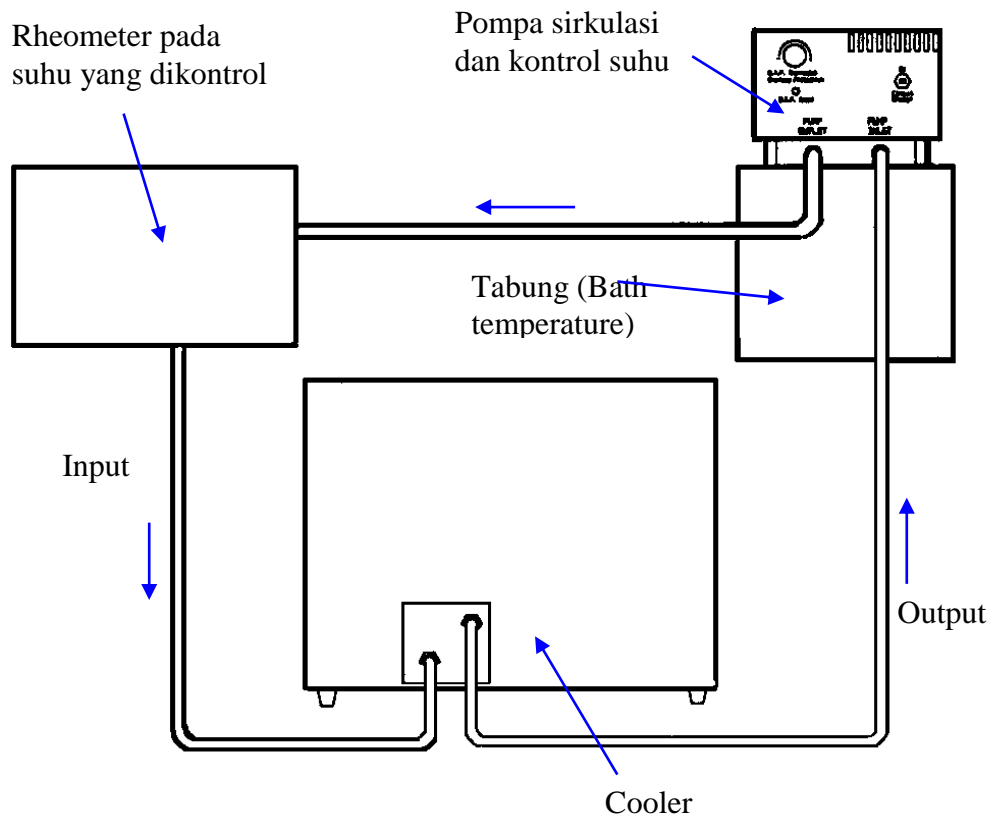
terhadap kecepatan putar *spindle* dan berhubungan dengan besar dan bentuk *spindle*. Tahanan viskos akan meningkat sejalan dengan meningkatnya ukuran dan kecepatan putar *spindle*, yang berarti peningkatan viskositas akan diindikasikan dengan meningkatnya defleksi pada pegas. Rentang pengukuran viskositas dari Brookfield Rheometer DV-III Ultra (dalam centipoise atau cP) ditentukan oleh kecepatan putar dari spindel, ukuran dan bentuk spindel, kedudukan putaran spindel, dan torsi dari pegas yang dikalibrasi. Adapun fungsi dari masing-masing tombol perintah Brookfield Rheometer DV-III Ultra seperti ditunjukkan pada gambar 3.6.

#### **3.2.1.1.2 Cooler dan Bath Temperature**

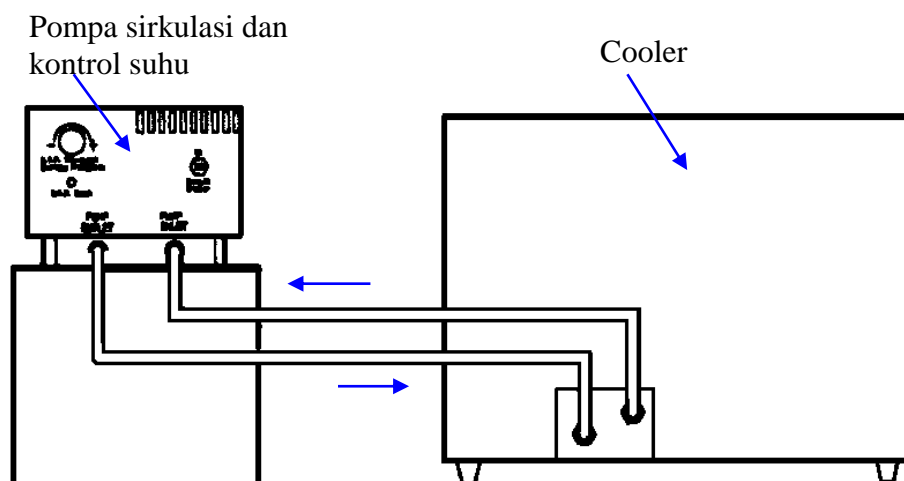
Untuk keperluan pengujian biodiesel pada suhu rendah, Rheometer DV-III Ultra dilengkapi dengan *cooler (Flow Through Cooler)* yang berfungsi sebagai pendingin bagi sampel biodiesel yang akan diuji. Dalam pengujian viskositas biodiesel pada suhu rendah dengan rentang suhu antara  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ , maka sesuai standar yang direkomendasikan oleh pabrikan yaitu menggunakan fluida pendingin dari campuran *Ethylin Glycol* dengan air murni (*aquades*) dengan perbandingan 50%/ 50%. Panel kontrol suhu mula-mula diatur sesuai dengan range suhu yang akan digunakan dalam pengujian. Pada pengujian viskositas biodiesel ini, suhu ditentukan mulai  $40^{\circ}\text{C}$  didinginkan sampai mencapai  $-20^{\circ}\text{C}$ . Interkoneksi aliran melalui cooler, circulator dan Rheometer pada suhu dikontrol seperti ditunjukkan pada gambar 3.7 dan gambar 3.8. Thermostat merupakan pengontrol suhu fluida pendingin (campuran *Ethylene Glycol* + air) dalam tabung, dimana apabila fluida pendingin dalam tabung terlalu dingin maka thermostat secara otomatis akan mematikan pompa sirkulasi, sehingga tidak terjadi sirkulasi fluida pendingin dari *cooler* menuju ke tabung.

Selain itu thermostat akan menyalakan *heater* yang berguna untuk menaikkan temperatur fluida pendingin dalam tabung, sehingga temperatur fluida pendingin di dalam tabung akan dijaga konstan sesuai dengan kondisi suhu yang diinginkan. Apabila fluida pendingin di dalam tabung terlalu panas (di atas *range* suhu yang telah ditentukan), maka thermostat secara otomatis akan menghidupkan pompa air, sehingga terjadi sirkulasi fluida pendingin dari *cooler* menuju ke tabung yang berguna untuk

menurunkan temperatur fluida pendingin di dalam tabung. Selain itu thermostat akan mematikan *heater*, sehingga temperatur pada tabung akan dijaga konstan sesuai dengan yang diinginkan.



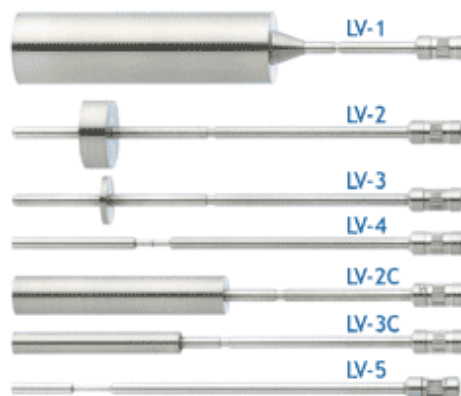
**Gambar 3.7.** Interkoneksi aliran melalui *Cooler*, *circulator* dan Rheometer pada suhu dikontrol (Brookfield Operators Manual TC 35, 2009).



**Gambar 3.8.** Interkoneksi aliran melalui *Cooler* dan *circulator* ketika sampel tidak terhubung ke *circulator* (Brookfield Operators Manual TC 35, 2009).

### 3.2.1.1.3. Spindel

Brookfield Rheometer DV-III Ultra dilengkapi dengan tujuh buah spindel seperti ditunjukkan pada gambar 3.9. Adapun spesifikasi dari spindel dapat dilihat pada tabel 3.5. Spindel ini diberi kode LV1, LV2, LV3, dan LV4, dimana spindel seri LV1 digunakan untuk mengukur fluida dengan viskositas paling rendah sampai dengan spindel seri LV4 untuk mengukur viskositas dari fluida yang paling tinggi. Adapun spindel dengan seri LV-2C; LV-3C; dan LV-5 adalah seri spindel opsional yang digunakan untuk pengujian laju geseran fluida. Dalam penelitian ini digunakan spindel seri LV1. Brookfield Rheometer DV-III Ultra mempunyai akurasi viskositas sebesar  $\pm 1\%$  dari skala penuh yang ditunjukkan dari berbagai jenis kecepatan putar dari spindel yang digunakan (persentase ini ditunjukkan dalam nilai centipoise). Seluruh seri spindel dalam Tabel 3.5 digunakan berdasarkan standar kecepatan putar antara 0,3 sampai 60 rpm.



**Gambar 3.9.** Spindel set (Brookfield Accessories, 2009).

Tabel 3.5. Spesifikasi dari Spindel (Brookfield Operation Manual TC502, 2009)

No	Spindle	Range
1	LV-1	15 - 20K <sup>a</sup>
2	LV-2	50 - 100K
3	LV-3	200 - 400K
4	LV-4	1K - 2M <sup>b</sup>
5	LV-5	2K - 4M
6	LV-2C	50 - 100K
7	LV-3C	200 - 400K

<sup>a</sup> K dalam ribuan

<sup>b</sup> M dalam jutaan

Jika variasi dari frekuensi daya atau daya yang naik turun tidak stabil akan menyebabkan spindel berotasi pada kecepatan putaran yang tidak benar. Jika kita berada di suatu area dimana jam elektrik digunakan, sebaiknya faktor tersebut dihilangkan. Perubahan dari tegangan listrik (naik dan turun) tidak terlalu bermasalah asalkan deviasinya tidak lebih dari  $\pm 10\%$  dari tegangan dan frekuensi yang sebenarnya.

Gejala yang nyata dari terjadinya perubahan tegangan listrik adalah:

1. gagalnya motor untuk berputar
2. putaran spindel yang tidak stabil (berayun) dan tersentak-sentak
3. *display* digital yang tidak konsisten dalam pembacaan

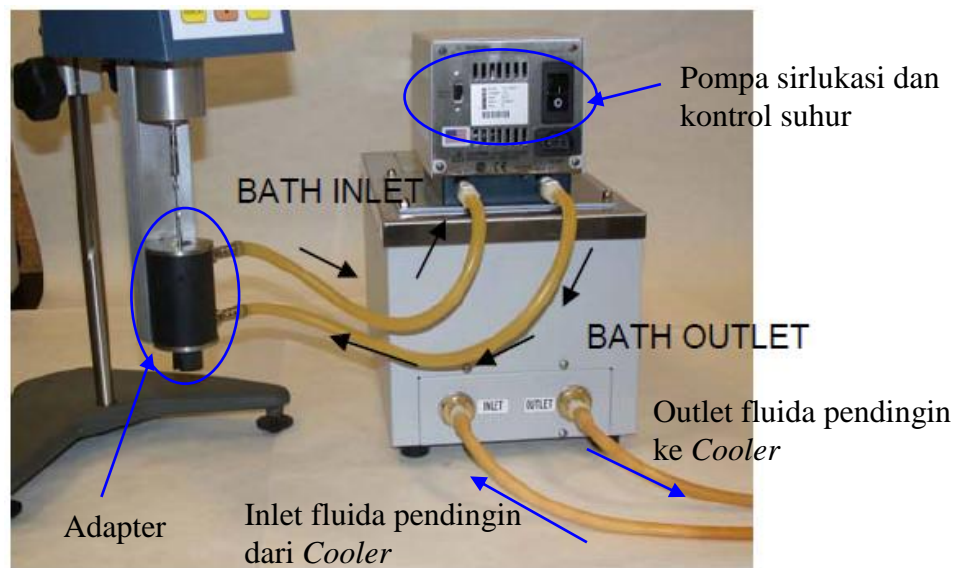
Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, maka langkah-langkah pengujian berikut ini adalah berguna untuk mengevaluasi rheometer sebelum digunakan:

1. *Rheometer* terlebih dahulu harus dilakukan *leveling* agar didapatkan posisi yang tegak lurus. Proses *leveling* harus dilakukan tanpa dipasang spindel, dan power pada posisi "off".
2. Nyalakan *spindle coupling* untuk mendefleksikan *pointer* atau *display* digital dari posisi tanpa torsi ke skala torsi dari 5 sampai dengan 10 dan biarkan mengayun kembali menggunakan dayanya sendiri.
3. Jika *pointer* mengayun bebas dan *smooth*, kemudian kembalikan torsi pada posisi nol, dari test tersebut diketahui bahwa *pivot point* dan *jewel bearing* masih dalam kondisi baik.
4. Pilih fluida standar yang sudah diketahui viskositasnya untuk kalibrasi akhir (dalam pengujian ini digunakan fluida standar TC-Fluida 2) .

#### 3.2.1.1.4. Adaptor

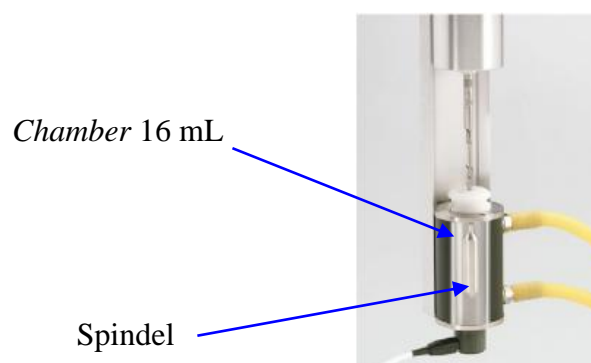
Alat kelengkapan adaptor disertakan dimaksudkan untuk control suhu dari  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ . Hubungkan saluran sisi *inlet* dan *outlet* dari *circulator* ke adaptor dan hubungkan juga saluran sisi *inlet* dan *outlet* dari *Cooler* ke *circulator* seperti pada gambar 3.10.





**Gambar. 3.10.** Sambungan aliran fluida pendingin dari bath temperatur ke adaptor (Brookfield Operation Manual TC502, 2009).

Dalam pengujian viskositas biodiesel yang dilakukan dengan *range* suhu antara  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ , maka sesuai standar yang telah ditetapkan, fluida pendingin didalam *Cooler* menggunakan campuran *Ethylin Glycol* dan *aquades* dengan perbandingan 50% / 50%. Adapter terdiri dari ruang sampel silinder dan poros, yang merupakan sistem geometri yang ditetapkan untuk pengukuran viskositas yang akurat dari volume sampel kecil antara 2 sampai 16 ml. Adapun penampang potongan dari adaptor dapat dilihat pada gambar 3.11.



**Gambar. 3.11.** Penampang potongan dari adaptor, (OM Brookfield TC502, 2009).

### 3.2.1.1.5. Komputer Set

Satu set komputer yang meliputi *CPU*, *Monitor* dan *key board* serta *soft ware* yang digunakan yaitu *Rheocalc* yang direkomendasikan oleh Brookfield Rheometer D-III Ultra.

### 3.2.1.1.6. Bahan-bahan standart pengujian viskositas

Bahan-bahan standart yang direkomendasikan oleh Brookfield Rheometer DV-III Ultra dalam mengoperasikan Rheometer yang akan digunakan untuk pengujian viskositas adalah fluida standar yang meliputi :

#### 1. Fluida standar

Fluida standar sebagai circulator tergantung pada kebutuhan penggunaan, berbagai fluida sesuai yang direkomendasikan dapat digunakan sebagai *Circulator*. Secara kimia kompatibel dengan reservoir dan dengan baja seri 300 di pompa dan pemanas. Pemilihan circulator juga harus sesuai untuk rentang suhu yang diinginkan. Selalu gunakan cairan yang memuaskan keselamatan, kesehatan, dan persyaratan kompatibilitas peralatan. Untuk stabilitas suhu optimal, viskositas fluida harus 50 centistokes (50cSt) atau kurang pada suhu operasi terendah. Hal ini memungkinkan sirkulasi cairan yang baik dan meminimalkan pemanasan dari pompa.

**Tabel 3.6.** Fluida standar sebagai *circulator reservoir* yang direkomendasikan (Brookfield Operation Manual TC502, 2009).

No	Deskripsi Fluida	Panas Jenis pada 25°C	Range Suhu Normal (°C)	Range Suhu Ekstrim (°C)
1	Air Distilasi	1,00	10° – 90°C	2° – 100°C
2	TC-Fluid 2	0,82	-20° – 100°C	-30° – 100°C
3	TC-Fluid 3	0,39	50° – 150°C	5° – 270°C
4	TC-Fluid 4	0,42	100° – 200°C	80° – 232°C
5	TC-Fluid 5	0,76	-50° – 60°C	-62° – 60°C

Untuk suhu dari 10°C sampai 90°C, penggunaan air sulingan (*aquades*) dianjurkan. Untuk suhu di bawah 10°C, gunakan TC-Fluida 2. Jangan gunakan air deionisasi. Tabel 3.6 dimaksudkan untuk melayani sebagai panduan dalam memilih fluida *circulator reservoir* sesuai dengan rentang suhu yang dipilih

dalam penelitian. Dalam penelitian ini, karena untuk keperluan aliran biodiesel pada suhu rendah, maka rentang suhu yang dipilih mulai mulai  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$ . Adapun *circulator reservoir* yang sesuai yaitu menggunakan TC-Fluida2 (Tabel 3.6). Untuk stabilitas suhu optimum dan penguapan yang rendah, pastikan untuk tetap dalam kisaran suhu normal fluida.

## 2. Ethylene Glycol

Petunjuk pemakaian *Ethylene Glycol* sebagai fluida pendingin alat ukur Rheometer yang direkomendasikan oleh Brookfield Rheometer D-III Ultra seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.7. Pemilihan fluida untuk penggunaan suhu rendah, viskositas dan titik beku harus dipertimbangkan. Fluida umum digunakan adalah: campuran 50/50 dari metanol dan air, atau campuran 50/50 etilin glikol atau propilen glikol dan air.

**Tabel. 3.7.** Prosentase *Ethylene Glycol* berdasarkan berat vs titik beku (Anti freeze Rheometer, 2010).

% Glycol (berdasarkan berat)	Titik Pendinginan ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	Ethylene Glycol	Propylene Glycol
0	32,0	32,0
5	29,4	29,1
10	26,2	26,1
15	22,2	22,9
20	17,9	19,2
25	12,7	14,7
30	6,7	9,2
35	-0,2	2,4
40	-8,1	-6,0
45	-17,5	-16,1
50	-28,5	-28,3
55	-42,0	-59,9

Tabel 3.8 adalah jenis fluida pendingin yang direkomendasikan oleh *Brookfield Engineering Laboratories* yang akan membantu dalam memilih fluida untuk aplikasi. Adapun fluida sebagai media pendingin yang digunakan adalah *Ethylene Glycol*. Karena diperlukan untuk pengukuran viskositas sampai suhu -

20°C, maka campuran antara *freezer* dengan air dengan perbandingan 50% *Ethylene Glycol* / 50% air.

**Tabel 3.8.** Pemakaian fluida pendingin yang direkomendasikan oleh Brookfield Engineering Laboratories (Brookfield Flow-Through Cooler, Model TC-35, OM, 2009).

No	Diskripsi Fluida	Panas Jenis pada 25°C	Range Suhu Normal (°C)	Range Suhu Ekstrem (°C)
1	Air	1,00	10° - 90°C	2° - 100°C
2	30% Ethylene Glycol/ 70% Air	0,90	0° - 95°C	-15° - 107°C
3	50% Ethylene Glycol/ 50% Air	0,82	-20° - 100°C	-30° - 100°C
4	100% Ethylene Glycol	0,62	50° - 125°C	0° - 125°C
5	Dynalene-HC 50 TM	0,76	-50° - 60°C	-62° - 60°C
6	DC510 50 cs Silicone Oil	0,39	50° - 150°C	5° - 270°C
7	DC5125 cs Silicone Oil	0,42	100° - 200°C	80° - 315°C

### 3. Air murni (*Aquades*)

Air murni atau *aquades* digunakan sebagai campuran media pendingin di dalam Rheometer. Sebelum Rheometer dioperasikan, tangki sistem air pendingin pada *Cooler* harus sudah terisi.

#### 3.2.1.2 Timbangan massa

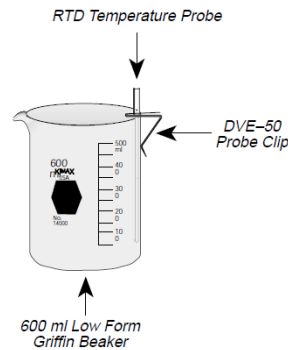
Alat timbangan massa fluida merk A&D, seri GH/HR-i (Gambar 3.12) yaitu alat yang digunakan untuk mengukur massa dari fluida dengan ketelitian sampai 4 (empat) digit.



**Gambar 3.12.** Timbangan massa merk A&D, seri GH/HR-i ( <http://www.aandd.jp>, Juni 2011).

### 3.2.1.3 Gelas ukur

Gelas ukur berfungsi sebagai alat bantu untuk mengukur volume campuran biodiesel dan aditif sebelum dilakukan pengujian seperti ditunjukkan pada gambar 3.13.



**Gambar 3.13.** Gelas ukur 600 mL

### 3.2.1.4 Spuit

Untuk mengukur volume campuran biodiesel dengan aditif menggunakan alat bantu yang disebut *Spuit*. *Spuit* berskala yang digunakan dengan ukuran 100 mL, dan 600 mL seperti ditunjukkan pada gambar 3.14.



a) ukuran 100 mL



b). ukuran 600 mL

**Gambar 3.14.** *Spuit* berskala: a). ukuran 10 mL dan b) ukuran 600 mL (Suntikan, 2011).

### 3.2.2 Verifikasi dan Kalibrasi Rheometer

Untuk mendapatkan hasil dengan tingkat keakuratan yang tinggi, maka sebelum dilakukan pengujian viskositas perlu kalibrasi alat uji Rheometer. Kalibrasi Rheometer dilakukan dalam 2 (dua) tahapan:

1. Tahap pertama disebut *autozeroing*

Pada tahap pertama (*autozeroing*), yaitu tahap kalibrasi Rheometer dalam keadaan tanpa beban, dan spindle dalam keadaan tidak terpasang. Hal ini berguna untuk menentukan *autozeroing*, dimana pada kondisi tersebut viskositas dalam keadaan 0,0 cP (Brookfield TC502, OM, 2003).

2. Tahap kedua kalibrasi dengan *aquades* (H<sub>2</sub>O murni)

Pada tahap kedua, untuk tujuan kalibrasi alat uji Rheometer digunakan *aquades* (H<sub>2</sub>O murni) yang berguna untuk menentukan besarnya kesalahan pembacaan dari alat ukur Rheometer, yang nantinya nilai tersebut dikurangkan atau ditambahkan. Alasan digunakan H<sub>2</sub>O murni karena nilai viskositasnya sudah diketahui yaitu sebesar 1 mPa.s (1 cP) pada suhu 20°C, dimana 1 mPa.s = 1 cP (Brookfield TC 502, OM, 2003). Dari hasil pengujian pada kecepatan putar 50 rpm, diperoleh nilai viskositas air seperti pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9.**Nilai viskositas H<sub>2</sub>O murni, pada kecepatan putar spindle 50 rpm.

	Viskositas ( cP )
<b>pengujian 1</b>	1.23
<b>pengujian 2</b>	1.30
<b>pengujian 3</b>	1.24
<b>pengujian 4</b>	1.26
<b>pengujian 5</b>	1.24
<b>pengujian 6</b>	1.31
<b>rata-rata</b>	1.26

Pengecekan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Full\ scale\ viscosity\ range\ (cP) = TK.SMC. \frac{10000}{RPM} \quad (3-1)$$

$$= 0,09373 \times 6,4 \times \frac{10000}{50} = 119,974$$

dimana 1 % nya =1,19

Dengan nilai penyimpangan sebesar 0,26 cP, artinya bahwa alat ukur Rheometer masih dalam *range* kondisi operasi baik. Selanjutnya hasil pengukuran dikurangi dengan 0,26 cP.

### 3.2.3 Pengujian Viskositas Campuran Biodiesel dengan Aditif

Pada pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif dengan menggunakan alat uji viskositas Rheometer, nilai viskositas hasil pengukuran adalah viskositas dinamis. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah pemilihan bahan baku biodiesel pemilihan aditif yang digunakan sebagai campuran biodiesel, penentuan variasi konsentrasi campuran aditif pada biodiesel, *range* suhu pengujian viskositas, dan pengambilan nilai densitas campuran biodiesel dengan aditif.

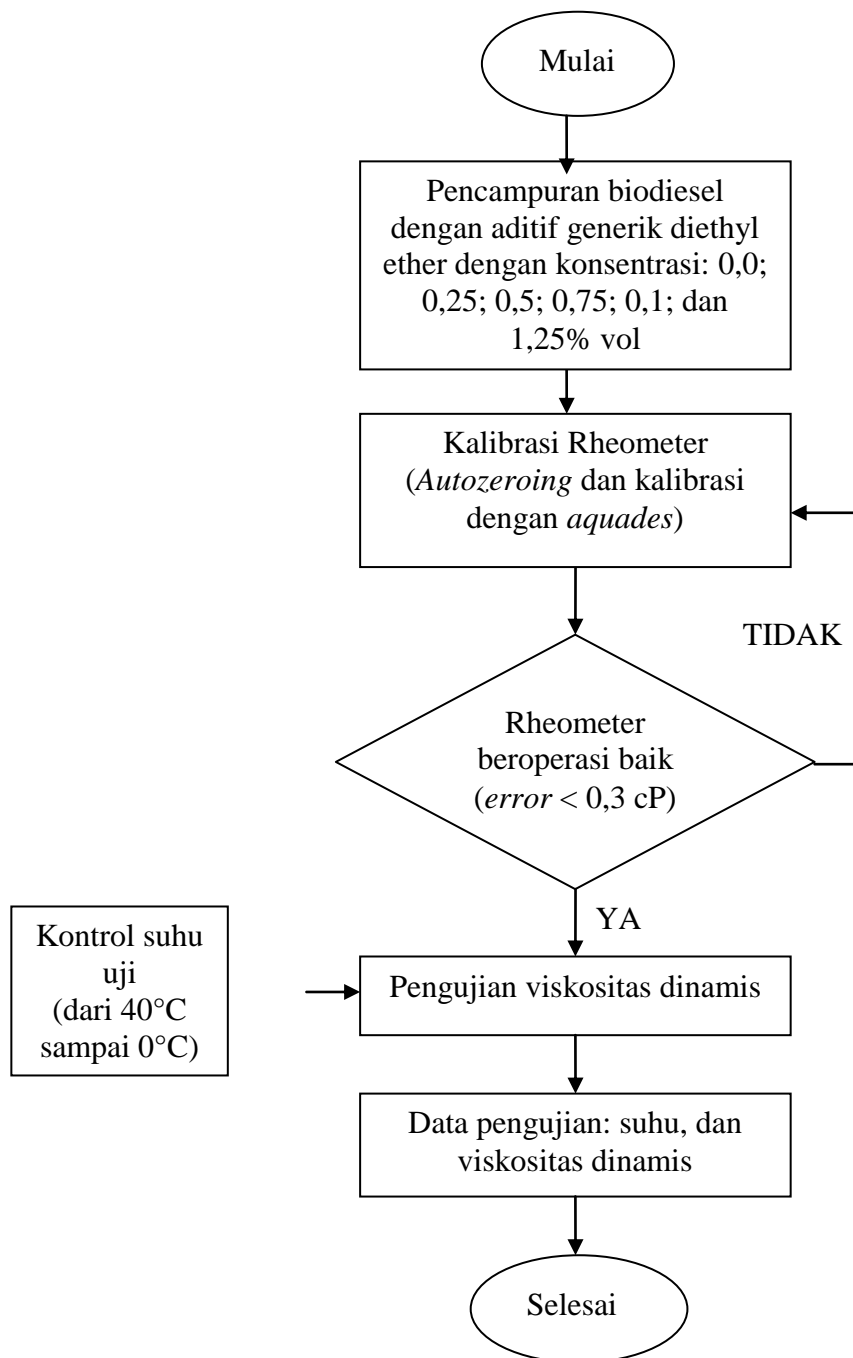
Pengujian viskositas dilakukan dalam beberapa tahapan yang meliputi:

1. Pengujian viskositas biodiesel minyak kelapa sawit murni (B100)
2. Pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif generik diethyl ether
3. Pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplox 10-330 CFI

Masing-masing pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif menggunakan Rheometer dilakukan sebanyak 5(lima) kali dengan ketentuan pengujian sebagai berikut:

1. Konsentrasi campuran aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) pada biodiesel yang sama yaitu: 0,0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; dan 1,25% berdasarkan volume.
2. Pengujian viskositas dinamis dilakukan untuk *range* suhu mulai dari 40°C sampai 0°C (sampai membeku).
3. Data viskositas dinamis yang dipilih adalah untuk perubahan suhu 5°C (pada suhu 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5, dan 0°C).

Tahap pertama adalah pengujian viskositas dinamis biodiesel minyak kelapa sawit murni pada kondisi suhu dikontrol mulai 40°C sampai 0°C. Adapun tahap kedua adalah pengujian viskositas dinamis campuran biodiesel dengan diethyl ether, dan tahap ketiga adalah pengujian viskositas dinamis campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI, yang masing-masing dengan konsentrasi campuran: 0,0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; dan 1,25 berdasarkan volume pada kondisi suhu dikontrol mulai 40°C sampai 0°C.

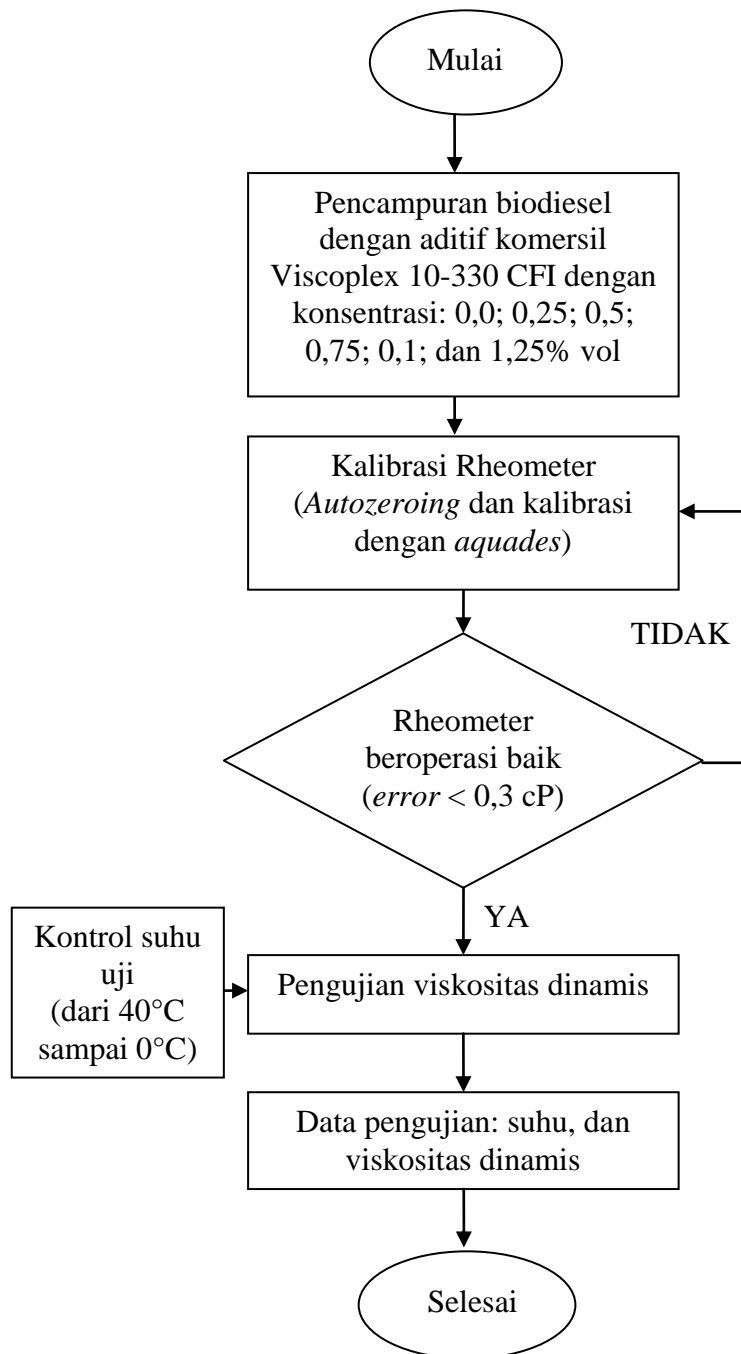


**Gambar 3.15.** Diagram alir pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif generik diethyl ether menggunakan *Rheometer*.

Alur pengujian viskositas dinamis campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) yang dilakukan dalam penelitian ini, mulai dari bahan-bahan yang digunakan, persiapan peralatan yang



digunakan hingga selesai seperti ditunjukkan pada diagram alir gambar 3.15 dan gambar 3.16.



**Gambar 3.16.** Diagram alir pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI menggunakan *Rheometer*.

Mula-mula biodiesel dicampur dengan aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI), dengan konsentrasi: 0,0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; dan 1,25 % berdasarkan volume. Sebelum dilakukan pengujian viskositas, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi (*autozeroing* dan kalibrasi dengan *aquades*) terhadap alat uji Rheometer, dimana alat uji Rheometer dikatakan siap pakai jika nilai penyimpangan (*error*) < 0,3 cP. Jika saat dilakukan kalibrasi alat uji Rheometer, nilai penyimpangan (*error*) > 0,3 cP, maka perlu dilakukan kalibrasi ulang sampai nilai penyimpangannya memenuhi persyaratan yang diijinkan.

Selanjutnya dilakukan pengujian viskositas campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) dengan konsentrasi campuran aditif pada biodiesel dan kontrol suhu uji sesuai yang telah ditetapkan. Pengukuran viskositas dinamis dilakukan sebanyak 5 (lima) kali, kemudian hasilnya di rata-rata. Hasil viskositas dinamis rata-rata kemudian dikurangi dengan nilai koreksi (nilai penyimpangan) sebesar 0,26 centiPoise (cP), sehingga didapatkan nilai viskositas dinamis sebagai data hasil pengujian.

Tabel 3.10 Nilai densitas dan viskositas kinematik dari berbagai bahan

No	Bahan	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas Kinematik (mm <sup>2</sup> /s atau cSt)	Referensi
1	Biodiesel minyak kelapa sawit	0,890		SNI 04-7182-2006
2	Diethyl ether		0,32 cSt pada 40°C	Selim, Y.M.E, (2009)
3	Viscoplex 10-330 CFI		94,7 cSt pada 40°C	Viscoplex 10-330 Cold Flow Improvers, (2011)
4	Solar	0,860	3,83 cSt pada 40°C	SK Dirjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006
5	Minyak kelapa sawit	0.91	32	(Pioch, D, <i>et. al</i> , 2005)
6	Campuran biodiesel dan diethyl ether	0,890		SNI 04-7182-2006
7	Campuran biodiesel dan Viscoplex 10-330 CFI	0,890		SNI 04-7182-2006

Nilai viskositas hasil pengujian berupa viskositas dinamis. Untuk mendapatkan nilai viskositas kinematik yaitu dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2-4), sedangkan nilai densitas campuran biodiesel dengan aditif diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (lihat Tabel 3.10).

### **3.3. Pengujian Nilai Kalor Campuran Biodiesel dan Aditif**

Dalam penelitian ini, disamping untuk mengetahui viskositas campuran biodiesel dengan aditif, juga dilakukan pengujian nilai kalor pembakaran biodiesel. Nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif diukur menggunakan Bom Kalorimeter. Suhu awal pengujian adalah tetap yaitu sebesar 17°C. Aditif yang digunakan sebagai campuran biodiesel terdiri dari dua aditif yaitu aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI. Ke dua aditif sebagai campuran biodiesel dengan variasi konsentrasi campuran yang sama yaitu: 0,0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; dan 1,25% berdasarkan volume.

Sebelum dilakukan pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif, mula-mula dilakukan kalibrasi alat uji Bom Kalorimeter terlebih dahulu dalam keadaan tanpa beban dengan tujuan agar alat uji Bom Kalorimeter dapat berfungsi secara baik.

#### **3.3.1 Peralatan Pengujian Nilai kalor**

Peralatan utama untuk melakukan pengujian nilai kalor biodiesel menggunakan *Bomb Calorimeter* milik Laboratorium Thermofluid, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang. Peralatan yang digunakan untuk pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif terdiri dari:

1. Bomb Calorimeter set
2. Tabung oksigen dan Regulator
3. Timbangan massa
4. Spuit
5. Kunci inggris
6. Gunting
7. Mistar ukur

8. Tissue
9. Kain Lap
10. Burret 50 ml
11. Palu
12. Cetakan Pellet

### 3.3.1.1 Bom Kalorimeter

Bom kalorimeter adalah alat untuk mengukur parameter nilai kalor fluida. Alat ukur Bom calorimeter yang digunakan untuk pengujian nilai kalor terdiri dari beberapa komponen utama yang meliputi :

1. 1241 Adiabatic calorimeter
2. 1108 Oxygen Combustion Bomb
3. Mercury Calorimeter thermometers
4. 1562 Calorimeter Water Systems
5. 1541 Water Heater
6. 1551 Water Cooler
7. 1730 Calorimeter Controller
8. Controlled jacket calorimetry
9. Printer
10. Penyangga tutup *bomb calorimeter*
11. Kawat 10C15
12. Multimeter
13. Bahan-bahan standar pengujian nilai kalor

*Bomb calorimeter* ini terdiri dari pemanas, pendingin, sistem sirkulasi air terintegrasi, reaktor dan kontroler. *Bomb Calorimeter* sebagai alat uji nilai kalor yang digunakan adalah buatan *Parr Instrument Company*, Illinois, USA, tahun 1986. Seluruh komponen peralatan Bom Kalorimeter tersebut digunakan sebagai satu kesatuan untuk menguji nilai kalor suatu bahan. Kalorimeter merupakan alat pengujian nilai kalor untuk zat cair dan padat.

Fungsi utama bom kalorimeter adalah menghitung perubahan temperatur akibat adanya perubahan energi kimia yang menghasilkan panas pada sistem dengan lingkungannya, dengan melihat perubahan temperatur sebelum dan sesudah bom diledakan. Lingkungan yang dimaksud adalah bomb itu sendiri, sedangkan sistem yang dimaksud adalah reaksi kimia yang muncul pada saat bahan diledakkan. Bom Kalorimeter beserta kelengkapannya yang digunakan dalam penelitian ini adalah model 1241 buatan *Parr Instrument Company* seperti ditunjukkan pada gambar 3.17.

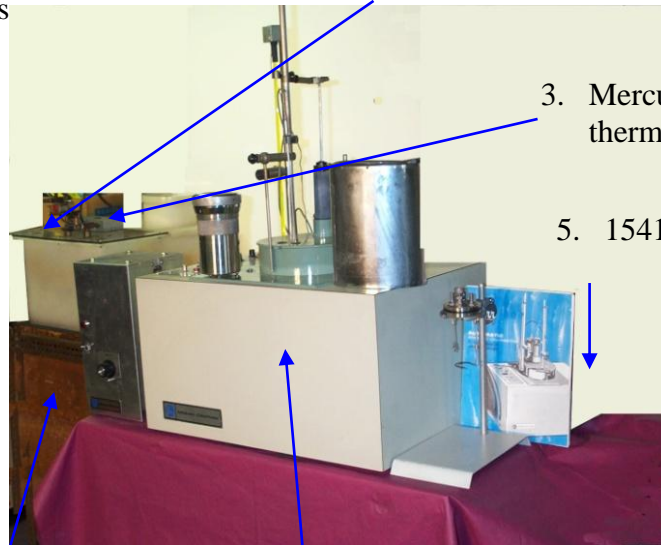
Pembakaran dengan oksigen dalam bom tertutup rapat adalah metode standar untuk mengkonversi sampel padat dan cair yang mudah terbakar menjadi bentuk larut untuk analisis kimia. Ini adalah metode yang dapat diandalkan yang sangat efektif karena kemampuannya untuk membakar sampel secara cepat dan mudah dalam sistem tertutup tanpa kehilangan apapun dari sampel atau produk pembakarannya. Semua hidrokarbon teroksidasi menjadi karbon dioksida dan air dengan reaksi, dan semua senyawa sulfur dikonversi ke bentuk larut dan diserap dalam bentuk air di dalam di bom. Senyawa klorin organik diubah menjadi HCl atau klorida. Setiap konstituen mineral tetap seperti abu, tetapi unsur-unsur anorganik lainnya seperti arsenik, boron dan semua halogen kembali ke bentuk semula dengan pembasuhan bom. Termometer yang digunakan pada bom kalorimeter dalam satuan derajat celsius dengan skala yang sangat teliti yaitu  $1/100^{\circ}\text{C}$ .

Fungsi dari *Calorimeter water system* adalah menyediakan air dengan takaran yang tetap pada setiap pengujian. Suhu air dapat disesuaikan dengan yang diinginkan sebagai suhu awal operasional kalorimeter dan juga sebagai tempat penampung dan sirkulasi air dari dan ke kalorimeter dan juga pemanas dan pendingin.

Unit Pemanas model 1541 buatan *Parr Instrument Company* ini berfungsi untuk menyuplai air panas dengan suhu mencapai  $60^{\circ}\text{C}$  ke kalorimeter. Sedangkan unit pendingin buatan *Parr Instrument Company* ini berfungsi untuk menyuplai air ke kalorimeter dengan suhu  $10^{\circ}\text{C}$ . Suhu yang dihasilkan dapat diatur dengan memutar sekrup pengontrol.

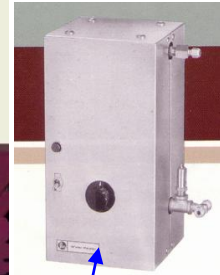
4. 1562 Calorimeter Water Systems

2. 1108 Oxygen Combustion Bomb



3. Mercury Calorimeter thermometers

5. 1541 Water Heater



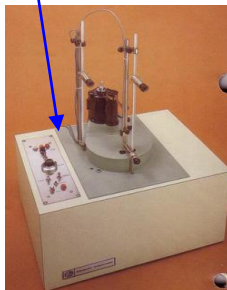
1. 1241 Adiabatic calorimeter

7. Penyangga tutup bomb calorimeter

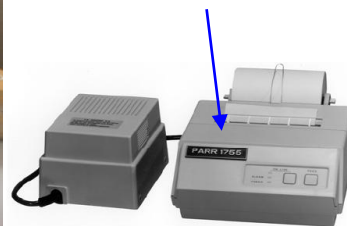
6. 1551 Water Cooler

8. Controlled jacket calorimetry

7. 1730 Calorimeter Controller



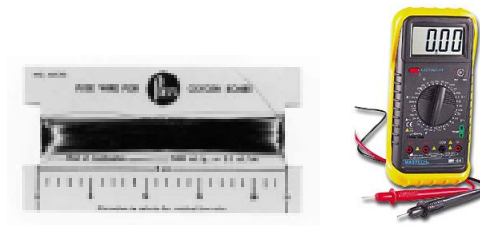
9. Printer



10. Kawat 10C15

11. Multimeter





**Gambar 3.17.** *Parr Model 1241 Bomb Calorimeter* (Parr Model 1241 Adiabatic Calorimeter, 2011).

*1730 Calorimeter controler* berfungsi menyediakan suatu sistem yang otomatis yang dapat :

1. Menentukan titik pada saat suhu equilibrium tercapai.
2. Menyalakan Bomb.
3. Mengkonfirmasi bahwa pembakaran telah terjadi.
4. Menentukan kenaikan temperatur.
5. Mengembalikan kalorimeter kepada titik awal.
6. Memasukan segala koreksi untuk panas yang hilang, bila ada.
7. Memasukan *composite correction factor* (CCF) untuk koreksi asam, sulfur dan kawat.
8. Menghitung dan menampilkan laporan awal sementara tentang panas pembakaran sampel dalam satuan yang ditentukan terlebih dahulu oleh operator.
9. Menerima koreksi untuk asam, sulfur dan kawat dan menampilkan laporan akhir *gross heat of combustion* dari suatu sampel.

Penyangga berfungsi sebagai dudukan tutup bom kalorimeter sewaktu memasang kawat 45C10 dan mengisi sample pada mangkok bom kalorimeter.

Kawat yang digunakan yaitu *Parr 45C10 Fuse Wire* adalah sebuah ukuran 34 B&S, kawat resistensi nikel-kromium pada kartu ukur sepanjang 10 cm untuk kemudahan dalam memotong. Kawat tersebut dengan nilai kalor pembakaran yang telah ditentukan, untuk memudahkan perhitungan nilai kalor total dari fluida sample yang akan diuji. Multimeter difungsikan sebagai ohm meter yaitu digunakan untuk memastikan bahwa kawat 45C10 telah tersambung dan telah terhubung dengan baik.

*Printer* dan kertas printer berfungsi untuk mencetak data hasil pengujian nilai kalor yang telah dilakukan.

### 3.3.1.2. Tabung Oksigen dan *1825 Oxygen Filling Connections*

Tabung oksigen yang berisi oksigen dan dilengkapi dengan *1825 Oxygen filling connection* (gambar 3.18) digunakan untuk pengisian oksigen ke dalam *1108 oxygen bomb calorimeter* dengan tekanan 35 atm ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).



**Gambar 3.18.** Tabung oksigen dan *1825 Oxygen filling connection*

*1824 Oxygen filling connection* yang digunakan memiliki skala pembacaan dari 0 s/d 100 atm ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), dilengkapi dengan katup pengontrol pengisian tekanan dan juga katup buang tekanan sisa.

### 3.3.1.3. Bahan-bahan standart pengujian nilai kalor

Bahan-bahan standart yang direkomendasikan oleh *Parr Instrument Company*, Illinois, USA, dalam mengoperasikan *Oxygen Bomb Calorimeter* yang akan digunakan dalam pengujian nilai kalor, meliputi :

1. *Asam Benzoat (Benzoic Acid)*

Asam benzoat (gambar 3.19) digunakan sebagai bahan standart jika akan mengoperasikan *Oxygen Bomb Calorimeter* menggunakan metode otomatis dalam melakukan pengujian.





**Gambar 3.19.** *Benzoic acid calorific standart* (Parr accesories oxygen bomb calorimeters, 2011)

Nilai kalor yang didapat dari asam benzoat tersebut dimasukkan sebagai nilai ekuivalen. Sebelum digunakan sebagai sampel, asam benzoat yang masih berbentuk serbuk, dibentuk terlebih dahulu menjadi pellet dengan massa berkisar antara 0,8 sampai 1,1 gram.

## 2. *Napthalene*

*Napthalene* digunakan sebagai ukuran ketepatan hasil pengukuran nilai kalor yang dihasilkan oleh kalorimeter jika menggunakan metode manual, namun dalam percobaan ini tidak digunakan *naphtalene* karena menggunakan metode otomatis. Hasil dari kalorimeter dibandingkan dengan yang ada di literatur. Sebelum digunakan sebagai sampel, *napthalene* yang masih berbentuk serbuk, dibentuk terlebih dahulu menjadi pellet dengan massa berkisar antara 0.8 sampai 1.1 gram.

## 1. Air murni (*Aquades*)

Air Murni digunakan sebagai media pendingin di dalam kalorimeter. Sebelum kalorimeter dioperasikan, tangki sistem air pada *bomb calorimeter* sudah harus terisi.

### 3.3.2 Standarisasi dan Kalibrasi Bom Kalorimeter

Menurut standar ASTM, untuk sebuah proses standarisasi yang menggunakan *benzoid acid* pada sebuah alat ukur nilai kalor bahan bakar menggunakan *bomb calorimeter* harus dilakukan minimal sebanyak enam kali. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan nilai energi ekuivalen dari sebuah alat ukur *bomb calorimeter* yang dapat

meminimalisasi nilai penyimpangan yang disebabkan oleh kesalahan manusia/kebiasaan operator. Tabel 3.11 menunjukkan hasil standarisasi yang telah dilakukan sebanyak enam kali dengan setiap pengujian menggunakan air murni dengan berat yang sama pada setiap pengujian yang didapat dari *1526 calorimeter water system* yang menyertai *bomb calorimeter*.

Koreksi untuk nilai kalor yang berasal dari kawat yang terbakar telah di kalikan dengan nilai koefisien yang telah diberikan oleh *Parr Instrument Company* sebagai produsen *bomb calorimeter* yang digunakan untuk pengujian. Sedangkan nilai koreksi untuk jumlah titran (dengan melarutkan 3.76 gr  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  di dalam air, yang lalu ditambahkan air sampai volume larutan sebesar 1 liter) yang ditambahkan diperoleh dari pengidealisasian nilai yang dianjurkan oleh *Parr Instrument Company*.

**Tabel 3.11** Standarisasi *Bomb Calorimeter*

	massa (gr)	Koreksi Kawat (cal)	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Koreksi Titran (cal)	W (cal/ $^{\circ}\text{C}$ )
<b>Pengujian 1</b>	0.995	19.52	2.6293	10	2404.16
<b>Pengujian 2</b>	0.823	16.56	2.1647	10	2411.85
<b>Pengujian 3</b>	1.064	20.24	2.8337	10	2380.66
<b>Pengujian 4</b>	1.074	14.90	2.8034	10	2433.68
<b>Pengujian 5</b>	0.975	19.60	2.535	10	2444.10
<b>Pengujian 6</b>	0.973	15.44	2.5776	10	2390.27
<b>Nilai W rata - rata yang akan digunakan</b>					<b>2410.78</b>

Dari hasil rata-rata pengujian yaitu sebesar  $2410 \pm 10 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$ , yang mana harga ini masih sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh *Parr Instrument Company*, meskipun demikian nilai energi ekuivalen yang tepat akan berbeda-beda pada setiap instalasi *bomb calorimeter* (1241 Parr Adiabatic Calorimeter, 1986).

### 3.3.3 Pengujian Nilai Kalor Campuran Biodiesel dan Aditif

Pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) dengan menggunakan alat uji Bom Kalorimeter. Pengujian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang meliputi:

1. Pengujian nilai kalor biodiesel minyak kelapa sawit murni (B100)
2. Pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif generik diethyl ether
3. Pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplax 10-330 CFI

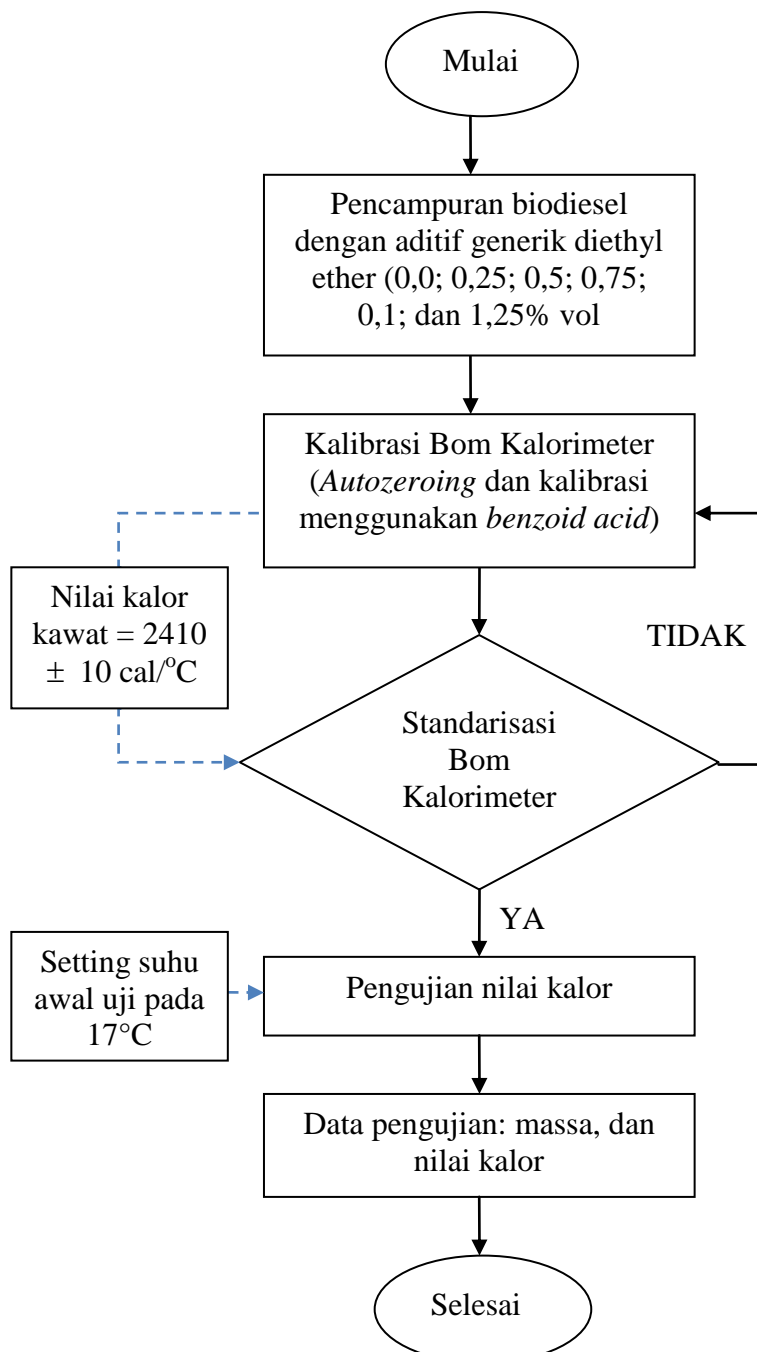
Masing-masing pengujian nilai kalor biodiesel menggunakan Bom Kalorimeter dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali, dengan kriteria pengujian sebagai berikut:

1. Kosentrasi campuran aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) pada biodiesel yang sama yaitu: 0,0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; dan 1,25% berdasarkan volume.
2. Pengujian nilai kalor dilakukan pada kondisi suhu awal 17°C, selanjutnya dipanaskan sampai terbakar.
3. Nilai kalor Nilai kalor yang diperoleh dari hasil pengujian merupakan data nilai kalor yang diinginkan.

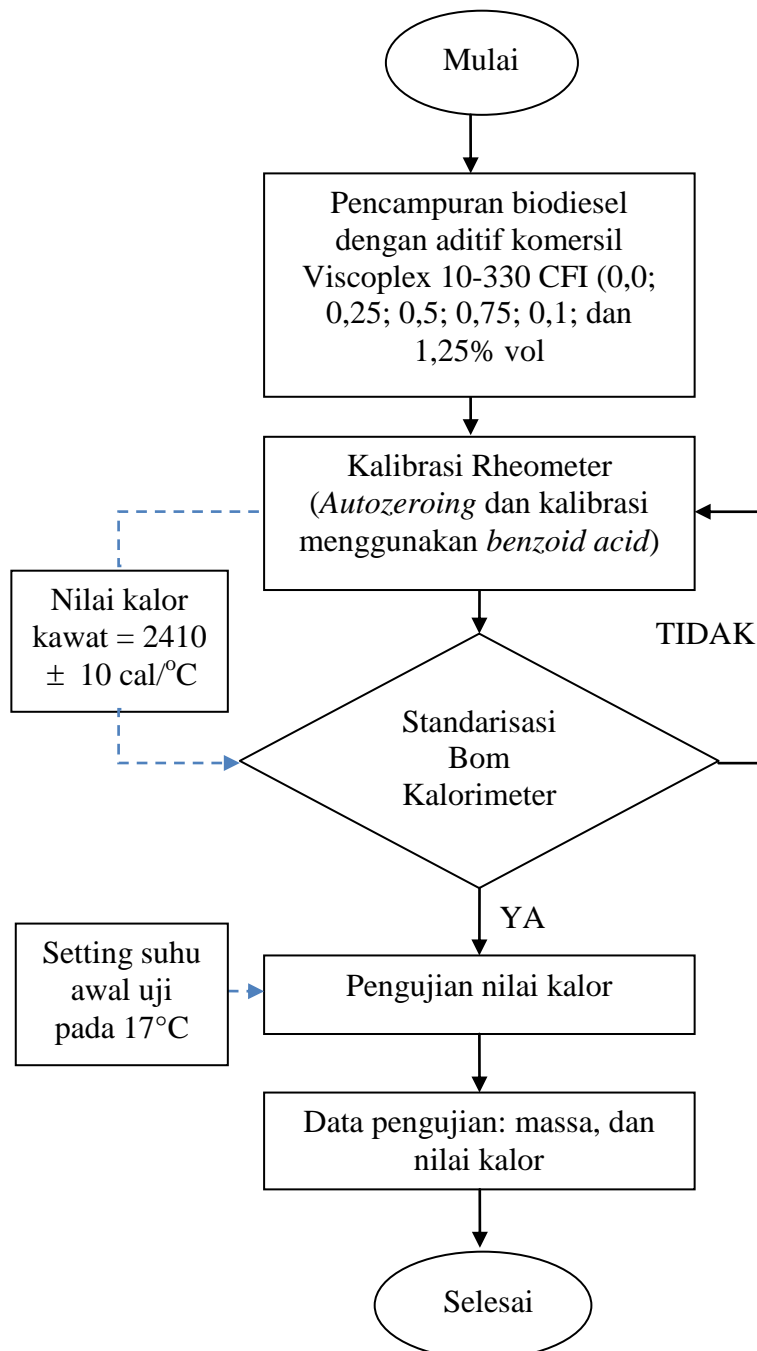
Tahap pertama adalah pengujian nilai kalor biodiesel minyak kelapa sawit murni. Adapun tahap kedua yaitu pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan diethyl ether, dan tahap ketiga adalah pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI, dimana masing-masing campuran aditif pada biodiesel dengan konsentrasi: 0,0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; dan 1,25 berdasarkan volume. Alur pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether dan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) yang dilakukan dalam penelitian ini, mulai dari bahan-bahan yang digunakan, persiapan peralatan yang digunakan hingga selesai seperti ditunjukkan pada diagram alir gambar 3.20 dan gambar 3.21.

Mula-mula biodiesel dicampur dengan aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI), dengan konsentrasi: 0,0; 0,25; 0,50;

0,75; 1,0; dan 1,25 % berdasarkan volume. Sebelum dilakukan pengujian nilai kalor, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi (*autozeroing* dan kalibrasi menggunakan *benzoid acid*) terhadap alat uji Bom Kalorimeter, dimana alat uji Bom Kalorimeter dikatakan siap untuk dipakai jika nilai kalor kawat  $< (2410 \pm 10 \text{ cal/}^\circ\text{C})$ . Jika saat dilakukan kalibrasi alat uji Bom Kalorimeter, nilai kalor kawat  $> (2410 \pm 10 \text{ cal/}^\circ\text{C})$ , maka perlu dilakukan kalibrasi ulang sampai nilai penyimpangannya memenuhi persyaratan yang diijinkan.



**Gambar 3.20.** Diagram alir pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif generik diethyl ether menggunakan *Bomb Calorimeter*.



**Gambar 3.21.** Diagram alir pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI menggunakan *Bomb Calorimeter*.

Selanjutnya dilakukan pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI) dengan konsentrasi campuran aditif pada biodiesel sesuai dengan yang telah ditetapkan. Pengukuran nilai kalor dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali, kemudian hasilnya di rata-rata. Hasil rata-rata merupakan data nilai kalor hasil eksperimen yang diinginkan.

Disamping dilakukan pengujian nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif (aditif generik diethyl ether maupun aditif komersil Viscoplex 10-330 CFI), juga dilakukan perhitungan nilai kalor campuran biodiesel dengan aditif dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Susan, M.S, 2011):

$$HHV_{camp} = (\chi \times HHV_{bio}) + (1 - \chi)HHV_{solar} \dots\dots\dots (3-2)$$

dimana,  $\chi$  = fraksi volume bahan bakar

Dengan mengurangkan antara nilai kalor hasil eksperimen dengan nilai kalor hasil perhitungan (prediksi) dari campuran biodiesel dengan aditif, maka akan didapatkan nilai penyimpangannya. Nilai penyimpangan ini merupakan tolok ukur (tingkat ketelitian) dari nilai kalor yang dihasilkan, dimana persyaratan nilai penyimpangan yang diperbolehkan adalah  $< 0,1\%$ .

