

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Biodiesel

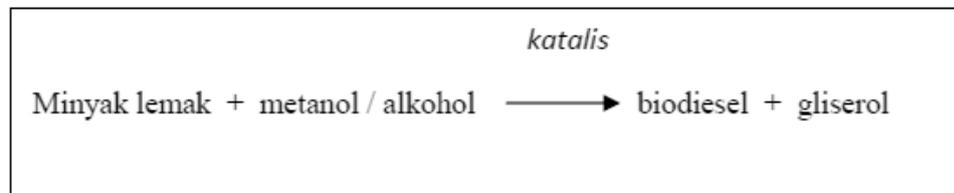
Biodiesel, atau sering dikenal dengan nama FAME atau *fatty acid methyl ester* (metil ester asam lemak) merupakan produk yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nabati atau hewani dengan metanol dan katalisator NaOH atau KOH.¹ Selain dengan menggunakan katalis basa, katalis yang bisa digunakan untuk membuat biodiesel adalah katalis asam. Pusat penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH) telah melaksanakan penelitian pembuatan biodiesel dari biji nyamplung (2005-2008) dengan menggunakan asam fosfat 20% sebesar 0,3 – 0,5% (b/b).² Setelah melewati proses ini, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (*solar*) dari minyak bumi, sehingga dapat menjadi bahan bakar alternatif pengganti solar.

Biodiesel merupakan alternatif yang paling dekat untuk menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi transportasi utama dunia, karena ia merupakan bahan bakar terbarui yang dapat menggantikan solar di mesin dan dapat diangkut dan dijual menggunakan infrastruktur yang ada pada saat ini. Secara konsep, proses pembuatan biodiesel tidaklah rumit. Biodiesel dihasilkan melalui proses yang disebut reaksi esterifikasi asam lemak bebas

¹Nurhayati, *Teknologi Pemrosesan Biodisel*, (Bandung: Pusat Pengembangan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri, 2014), Hal. 5.

²Arief Ma'rij, *Jurnal Teknik Mesin UNS Karakteristik Biodisel Dari Minyak Biji Nyamplung Dengan Proses Degumming Menggunakan Asam Sulfat Dan Asam Cuka Volume 02 Nomor 02*, (Surabaya:2014), Hal. 133.

atau reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol dan bantuan katalis sehingga dapat menghasilkan metil ester / etil ester asam lemak dengan gliserol.



Gambar 2.1. Diagram Alir Pembentukan Biodiesel

Biodiesel pertama kali di kenalkan di Afrika Selatan sebelum perang dunia ke-II sebagai bahan bakar kendaraan berat. Bahan bakar nabati biodiesel merupakan kandidat kuat sebagai bahan alternatif pengganti bensin dan solar yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Pemerintah Indonesia telah mencanangkan pengembangan dan implementasi bahan bakar tersebut, bukan hanya untuk menanggulangi krisis energi yang mendera bangsa namun juga sebagai salah satu solusi kebangkitan ekonomi masyarakat.

2.2 Jenis-Jenis Bahan Baku Biodiesel

Biodiesel adalah senyawa *methyl ester* atau *ethyl ester* yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak bumi. Biodiesel adalah salah satu energi alternatif terbarukan untuk bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani.³ Penggunaan minyak nabati dan lemak hewani sebagai bahan dasar biodiesel menyebabkan bahan

³Nurhayati, *Teknologi Pemrosesan Biodiesel*, (Bandung: Pusat Pengembangan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri, 2014), Hal. 1.

bakar biodiesel menjadi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar solar yang biasa digunakan.

Tabel 2.1. Beberapa Sumber Minyak Nabati sebagai Bahan Baku Biodiesel⁴

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

2.3 Proses Pembuatan Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang dapat berupa metil ester ataupun etil ester, hal tersebut tergantung dari jenis alkohol yang digunakan dalam proses esterifikasi. Namun, biodiesel yang paling sering diproduksi adalah metil ester karena metanol tidak sulit untuk didapatkan dan harganya tidak mahal. Penelitian tentang pembuatan biodiesel pernah dilakukan oleh A.E Atabani dengan proses *pre-treatment*, dua kali proses esterifikasi, transesterifikasi,

⁴<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/34276/4/Chapter%20II.pdf>. Diakses Pada Tanggal 16 Januari 2017. Pukul 15.00.

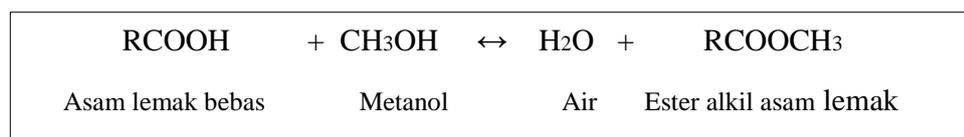
dan *post-treatment*⁵, tetapi pada penelitian yang akan penulis lakukan, penulis akan mencoba untuk menyederhanakan proses pembuatan biodiesel.

2.3.1 Degumming

Gum merupakan kata dari bahasa Inggris yang mempunyai arti getah. Getah/lendir yang ada pada minyak nyamplung mentah terdiri dari fosfatida, protein, karbohidrat, residu, air dan resin.⁶ Getah-getah tersebut harus dihilangkan dari minyak yang akan dijadikan biodiesel. Proses *degumming* dilakukan dengan tujuan untuk memisahkan gum atau getah serta zat pengotor lainnya dari minyak yang akan dijadikan sebagai biodiesel.⁷

2.3.2 Esterifikasi

Tahapan yang dilakukan setelah proses *degumming* adalah esterifikasi. Esterifikasi adalah reaksi perubahan dari suatu asam karboksilat dan alkohol menjadi suatu ester dengan menggunakan katalis asam.⁸ Reaksi ini juga sering disebut esterifikasi Fischer.



Gambar 2.2. Reaksi Esterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel

⁵<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003621>. Diakses Pada Tanggal 28 September 2016. Pukul 18.00

⁶Nurhayati, *Teknologi Pemrosesan Biodisel*, (Bandung: Pusat Pengembangan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri, 2014), Hal. 30.

⁷Andik Baktiar, *Jurnal Teknik Mesin UNS Perbaikan Kualitas Biodiesel Biji Karet Melalui Proses Degumming Menggunakan Asam Phospat Metode Non-Katalis Superheated Methanol Tekanan Atmosfir*. Hal. 324.

⁸<https://www.ilmukimia.org/2013/03/reaksi-esterifikasi.html>. Diakses Pada Tanggal 19 Januari 2017. Pukul 17.59.

Tahapan esterifikasi bertujuan untuk menurunkan asam lemak bebas karena produksi biodiesel asam lemak bebasnya harus kecil dari 2%.⁹ Asam lemak bebas dalam konsentrasi tinggi yang terikut dalam minyak nabati sangat merugikan. Tingginya asam lemak bebas ini mengakibatkan rendemen minyak turun. Untuk itulah perlu dilakukan usaha pencegahan terbentuknya asam lemak bebas dalam minyak nyamplung. Zat yang biasa digunakan sebagai katalis reaksi esterifikasi adalah asam kuat, contohnya H_2SO_4 .

2.3.3 Transesterifikasi

Salah satu proses pembuatan biodiesel yang paling banyak digunakan dalam industri adalah transesterifikasi minyak nabati. Transesterifikasi adalah reaksi antara trigliserida dan alkohol menghasilkan gliserol bebas dan ester alkil asam lemak, yang pertama kali dilakukan pada tahun 1853 oleh ilmuwan E. Duffy dan J. Patrick.¹⁰ Umumnya katalis yang digunakan dalam proses transesterifikasi adalah NaOH atau KOH.

Metanol lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya lebih murah dan lebih mudah untuk didaur ulang kembali, walaupun tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan jenis alkohol lainnya seperti etanol.

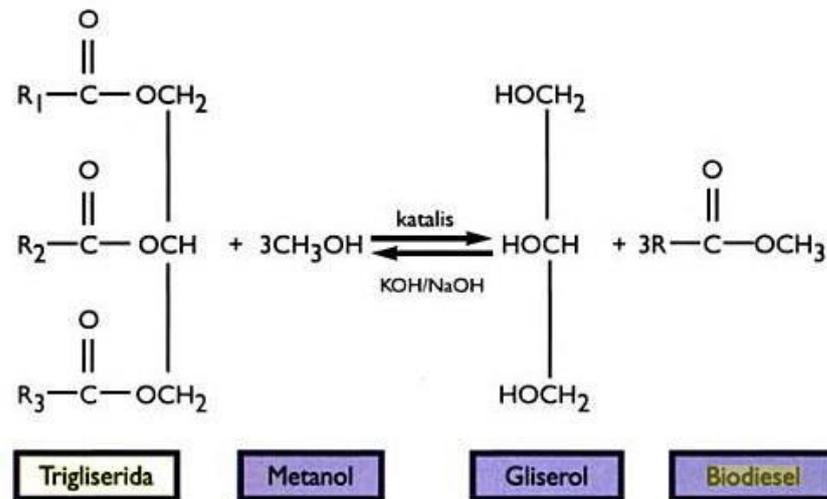
Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan untuk mendorong reaksi agar bergerak ke arah hasil reaksi sehingga dihasilkan

⁹Tengku Ryhaan, *Jurnal Online Mahasiswa Produksi Biodiesel Dari CPO Dengan Proses Esterifikasi Dengan Katalis H_2SO_4 Dan Transesterifikasi Dengan Katalis Cao Dari Cangkang Kerang Darah Volume 2 No. 1*, (Pekanbaru:2015), Hal. 209.

¹⁰Nurhayati, *Teknologi Pemrosesan Biodisel*, (Bandung: Pusat Pengembangan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Mesin dan Teknik Industri, 2014), Hal. 46.

mestil ester (biodiesel) maka perlu digunakan alkohol dalam jumlah yang berlebih atau salah satu produk yang dihasilkan harus dipisahkan.

Pada Gambar 2.3 disajikan reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol untuk menghasilkan metil ester (biodiesel).



Gambar 2.3. Reaksi Transesterifikasi dalam Pembuatan Biodiesel

Faktor utama yang mempengaruhi rendemen ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah rasio molar antara trigliserida dan alkohol, jenis katalis yang digunakan, suhu reaksi, waktu reaksi, kandungan air dan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku yang dapat menghambat reaksi. Faktor lain yang mempengaruhi kandungan ester pada biodiesel, diantaranya kandungan gliserol, jenis alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi, jumlah katalis sisa, dan kandungan sabun.

2.4 Nyamplung

Salah satu jenis tanaman hutan yang mempunyai potensi sebagai bahan baku *biofuel* adalah Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) dengan

memanfaatkan bijinya.¹¹ Tanaman Nyamplung merupakan tanaman non-pangan dan tanaman ini sudah mulai dibudidayakan di Indonesia sebagai tanaman *wind breaker* pada daerah tepi pantai atau lahan-lahan kritis.



Gambar 2.4. Gambar Biji Nyamplung

2.4.1 Prasyarat Tumbuh Nyamplung

Tumbuhan Nyamplung mempunyai prasyarat agar dapat tumbuh dengan baik, prasyarat agar tumbuhan nyamplung adalah sebagai berikut¹²:

- a) Tumbuh pada tanah mineral dan pantai berpasir, tanah yang mengandung liat berdrainase baik dan toleran terhadap kadar garam.
- b) Tumbuh baik pada ketinggian: 0 – 200 meter dpl.
- c) Tipe curah hujan A dan B (1000 – 3000 mm/th dengan 4 – 5 bulan kering).
- d) Temperatur rata-rata 18-33°C.
- e) pH antara 4-7,4.

¹¹ Budi Leksono. dkk, *Budidaya Nyamplung (Calophyllum Inophyllum L.) Untuk Bioenergi Dan Prospek Pemanfaatan Lainnya*, (Bogor: PT Penerbit IPB Press, 2014), Hal. 1.

¹² *Ibid.*, Hal. 3.

2.4.2 Karakteristik Pohon Nyamplung

Pohon Nyamplung mempunyai karakteristik sebagai berikut¹³:

- a) Karakteristik pohon nyamplung bertajuk rimbun-menghijau dengan akar tunjang. Tinggi pohon dapat mencapai 25 m dengan tinggi bebas cabang 4-10 m, diameter pohon Nyamplung dapat mencapai 150 cm.
- b) Batang berkayu dengan percabangan mendatar dan jarang berbanir, kulit batang bagian luar berwarna kelabu atau putih, beralur dangkal dan mengelupas besar-besaran tipis, pada kulit kayu terdapat saluran getah berwarna kuning.
- c) Daun tunggal bersilang-berhadapan bulat memanjang atau bulat telur, ujung tumpul, pangkal membulat, tepi rata, pertulangan menyirip, panjang 20-21 cm, lebar 6-11 cm, tangkai 1,5 - 2,5 cm, daging daun seperti kulit/belulang, warna hijau.
- d) Bunga majemuk, bentuk tandan di ketiak daun yang teratas, berkelamin dua, diameter 2-3 cm, tujuh sampai tiga belas, daun kelopak empat tidak beraturan, benang sari banyak, tangkai putik membengkok, kepala putik berbentuk perisai, daun mahkota empat, lonjong, putih.
- e) Buah muda berwarna hijau dan yang sudah tua berwarna kekuning-kuningan, apabila dibiarkan lama buah berwarna seperti kayu, buah termasuk kategori buah batu, bulat seperti peluru dengan mancung kecil didepannya, diameter antara 2,5-5 cm.
- f) Biji berbentuk bulat tebal dan keras, berukuran relatif besar berdiameter 2,5-4 cm, daging biji tipis dan biji yang telah kering dapat tahan

¹³ *Ibid.*, Hal. 4.

disimpan selama 1 bulan, inti biji mengandung minyak berwarna kuning kecoklatan.

2.5 Tebu

Tebu merupakan tanaman yang cukup dikenal oleh masyarakat Indonesia dan umumnya tanaman tebu dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan pangan. Tanaman tebu tergolong tanaman perdu dengan nama latin *Saccharum officinarum*.¹⁴ Tebu mempunyai nama yang berbeda di beberapa



Gambar 2.5. Pohon Nyamplung

tempat. Di daerah Jawa Barat tebu disebut dengan Tiwu, di daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur disebut Tebu atau Rosan.

2.5.1 Morfologi Tanaman Tebu

Morfologi tanaman tebu dapat dilihat dari batang, akar, daun, dan bunga tebu.

¹⁴ Chandra Indrawanto.dkk, *Budidaya Dan Pasca Panen Tebu*, (Jakarta: Eska Media, 2010), Hal. 8.

2.5.2 Batang

Batang tanaman tebu berdiri lurus dan beruas-ruas yang dibatasi dengan buku-buku. Pada setiap buku terdapat mata tunas. Batang tanaman tebu berasal dari mata tunas yang berada dibawah tanah yang tumbuh keluar dan berkembang membentuk rumpun. Diameter batang antara 3-5 cm dengan tinggi batang antara 2-5 meter dan tidak bercabang.

2.5.3 Akar

Akar tanaman tebu termasuk akar serabut tidak panjang yang tumbuh dari cincin tunas anakan. Pada fase pertumbuhan batang, terbentuk pula akar dibagian yang lebih atas akibat pemberian tanah sebagai tempat tumbuh.

2.5.4 Daun

Daun tebu berbentuk busur panah seperti pita, berseling kanan dan kiri, berpelepah seperti daun jagung dan tak bertangkai. Tulang daun sejajar, ditengah berlekuk. Tepi daun kadang-kadang bergelombang serta berbulu keras.

2.5.5 Bunga

Bunga tebu berupa malai dengan panjang antara 50-80 cm. Cabang bunga pada tahap pertama berupa karangan bunga dan pada tahap selanjutnya berupa tandan dengan dua bulir panjang 3-4 mm. Terdapat pula benangsari, putik dengan dua kepala putik dan bakal biji.

2.5.6 Buah

Buah tebu seperti padi, memiliki satu biji dengan besar lembaga 1/3 panjang biji. Biji tebu dapat ditanam di kebun percobaan untuk mendapatkan jenis baru hasil persilangan yang lebih unggul.

2.5.7 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah bahan sisa berserat dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi niranya dan banyak mengandung parenkim serta tidak tahan disimpan karena mudah terserang jamur. Serat sisa dan ampas tebu kebanyakan digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pembuatan gula. Berikut ini adalah kandungan yang ada pada ampas tebu¹⁵:

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Ampas Tebu

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3,82
Lignin	22,09
Selulosa	37,65
Sari	1,81
Pentosan	27,97
SiO ₂	3,01

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu fenomena yang berkaitan erat dengan permukaan di mana terlibat interaksi antara molekul-molekul cairan atau gas dengan molekul padatan¹⁶. Interaksi ini terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul yang menutupi permukaan tersebut. Kapasitas adsorpsi dari ampas tebu tergantung pada ukuran partikel ampas tebu dan mungkin dapat digunakan untuk mengadsorpsi *Free Fatty Acid* pada minyak nyamplung yang masih mentah .

Berdasarkan kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya inter molekular lebih besar daripada gaya tarik antar

¹⁵ Asbahani, *Jurnal Teknik Sipil Untan Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar Besi Pada Air Sumur Volume 13 Nomor 1*, (Pontianak:2013), Hal. 108.

¹⁶ *Ibid.*, Hal. 106.

molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya *van der waals* sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Gaya antar molekul adalah gaya tarik antara molekul molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya inter molekular adalah gaya tarik antar molekul fluida itu sendiri. Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia.

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorben, di mana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorben adalah suatu media penyerap.¹⁷ Pada penelitian yang penulis lakukan, ampas tebu berperan sebagai adsorben dan pengotor berupa asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) adalah substansi yang akan dipisahkan.

2.6.1 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Adapun faktor- faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi yaitu jenis adsorbat, suhu, tekanan adsorbat, dan karakteristik adsorben.¹⁸

2.6.1.1 Jenis Adsorbat

a) Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

¹⁷ *Ibid.*, Hal. 107.

¹⁸ <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/48041/4/Chapter%20II.pdf>, Diakses Pada tanggal 17 Mei 2016, Pukul 15.58.

b) Kepolaran zat

Adsorpsi lebih kuat terjadi pada molekul yang lebih polar dibandingkan dengan molekul yang kurang polar pada kondisi diameter yang sama. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang telah lebih dahulu teradsorpsi. Pada kondisi dengan diameter yang sama, maka molekul polar lebih dahulu diadsorpsi.

2.6.1.2 Suhu

Pada saat molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah energi sehingga adsorpsi digolongkan bersifat eksoterm. Bila suhu rendah maka kemampuan adsorpsi meningkat sehingga adsorbat bertambah.

2.6.1.3 Tekanan Adsorbat

Pada adsorpsi fisika bila tekanan adsorbat meningkat jumlah molekul adsorbat akan bertambah namun, pada adsorpsi kimia jumlah molekul adsorbat akan berkurang bila tekanan adsorbat meningkat.

2.6.1.4 Karakteristik Adsorben

Ukuran pori dan luas permukaan adsorben merupakan karakteristik penting adsorben. Ukuran pori berhubungan dengan luas permukaan semakin kecil ukuran pori adsorben maka luas permukaan semakin tinggi. Sehingga jumlah molekul yang teradsorpsi akan bertambah. Selain itu kemurnian adsorben juga merupakan karakterisasi yang utama dimana pada fungsinya adsorben yang lebih murni yang lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi yang baik.

2.7 Viskositas

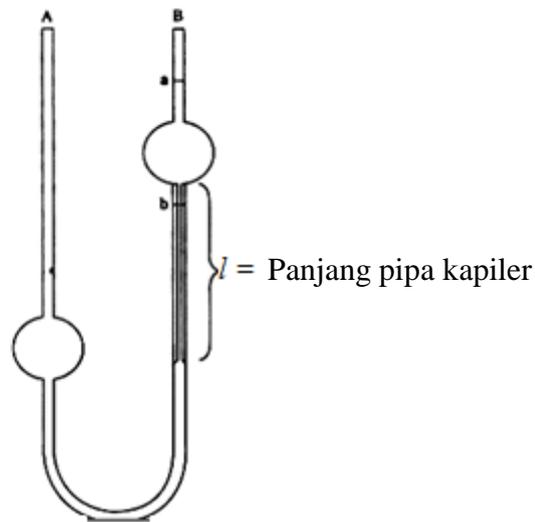
Viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan atau fluida. Viskositas (kekentalan) berasal dari kata *Viscous*.¹⁹ Viskositas dapat dianggap sebagai gerakan di bagian dalam (internal) suatu fluida. Jadi viskositas tidak lain menentukan kecepatan mengalirnya suatu cairan.

Gaya tarik antar molekul yang besar dalam cairan menghasilkan viskositas yang tinggi. Kekentalan (viskositas) merupakan sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan untuk mengalir. Beberapa cairan ada yang mengalir cepat, sedangkan lainnya mengalir secara lambat. Cairan yang mengalir cepat seperti air, alkohol dan bensin mempunyai viskositas kecil. Sedangkan cairan yang mengalir lambat seperti gliserin, minyak castor dan madu mempunyai viskositas besar.

Satuan SI untuk viskositas adalah $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2 = \text{Pa}\cdot\text{s}$ (Pascal sekon). Sedangkan menurut sistem CGS satuan viskositas adalah Poise (1 Poise = 0,1 Pa.s) yang setara dengan $\text{dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$. Suatu cairan mempunyai viskositas absolut atau dinamik 1 poise, bila gaya 1 dyne diperlukan untuk menggerakkan bidang seluas 1 cm^2 pada kecepatan 1 cm/detik terhadap permukaan bidang datar sejauh 1 cm. Viskositas sering juga dinyatakan dalam sentipoise (1 Poise = 100 cP).

Viskositas cairan dapat ditentukan dengan beberapa cara, salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan Viskometer Ostwald. Metode ini ditentukan berdasarkan hukum *Poiseuille* menggunakan alat Viskometer Ostwald seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.

¹⁹ Estein Yazid. *Kimia Fisika untuk Mahasiswa Kesehatan*. (Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2015). Hal. 175.



Gambar 2.6. Viskometer Ostwald

Penetapannya dilakukan dengan jalan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengalirnya suatu cairan dalam pipa kapiler dengan gaya yang disebabkan oleh berat cairan tersebut dari batas a ke batas b.

Sejumlah tertentu cairan yang akan diukur viskositasnya dimasukkan ke dalam viskometer yang diletakkan pada sebuah statif. Cairan kemudian diisap dengan menggunakan *ball pipet* ke dalam bola bagian atas sampai pada batas a. Cairan dibiarkan mengalir menuju ke bawah sampai garis batas b dan waktu yang diperlukan dari garis batas a ke ke garis batas b dicatat menggunakan *stopwatch*. Besarnya viskositas dapat dihitung dengan persamaan *Poiseuille* seperti berikut :

$$\eta = \frac{\pi Pr^4 t}{8Vl} \dots\dots\dots (2.1)$$

t adalah waktu yang diperlukan cairan bervolume V , yang mengalir melalui pipa kapiler dengan panjang l dan jari-jari r . Tekanan P merupakan perbedaan tekanan aliran kedua ujung pipa viskometer dan besarnya diasumsikan sebanding dengan berat cairan.

Pengukuran viskositas yang tepat dengan cara diatas sulit dicapai. Hal ini disebabkan harga r dan l sukar ditentukan secara tepat. Kesalahan pengukuran terutama r , sangat besar pengaruhnya karena harga ini dipangkatkan empat. Untuk menghindari kesalahan tersebut dalam praktiknya digunakan cairan pembanding. Cairan yang paling sering digunakan sebagai pembanding adalah air.

Untuk dua cairan yang berbeda dengan pengukuran alat yang sama, diperoleh hubungan :

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\pi P_1 r^4 t_1}{8Vl} \times \frac{8Vl}{\pi P_2 r^4 t_2} = \frac{P_1 t_1}{P_2 t_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Karena tekanan berbanding lurus dengan rapatn cairan (ρ), maka berlaku:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_2 t_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk viskositas kinematik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$v = \frac{\eta}{\rho} \dots\dots\dots (2.4)$$

Jadi, bila η dan ρ cairan pembanding diketahui, maka dengan mengukur waktu yang diperlukan untuk mengalir kedua cairan melalui alat yang sama dapat ditentukan η cairan yang sebelumnya telah dicari besar rapatannya. Terdapat tabel yang menyatakan hubungan antara properti air terhadap temperatur.

Tabel 2.3. Properti Air pada Berbagai Suhu²⁰

Temperatur (°C)	Tekanan (kPa)	Densitas (kg/m ³)	Konduktivitas Thermal (W/m.K)	Viskositas Dinamik (kg/m.s)
5	0,8721	999,9	0,571	1,519 x 10 ⁻³
10	1,2277	999,7	0,580	1,307 x 10 ⁻³
15	1,7051	999,1	0,589	1,138 x 10 ⁻³
20	2,339	998,0	0,598	1,002 x 10 ⁻³
25	3,169	997,0	0,607	0,891 x 10 ⁻³
30	4,246	996,0	0,615	0,798 x 10 ⁻³
35	5,628	994,0	0,623	0,720 x 10 ⁻³
40	7,384	992,1	0,631	0,653 x 10 ⁻³

Berdasarkan Tabel 2.3 diatas, temperatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur kamar 25°C. Sehingga nilai viskositas pembanding yang digunakan adalah 0,891 x 10⁻³ kg/m.s.

2.8 Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Keadaan semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rerata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah.

Satuan SI massa jenis adalah kg/m³. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama. Rumus untuk menentukan massa jenis adalah:

²⁰J. V. Sengers and J. T. R Watson. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986)

$$\rho = m/v \dots\dots\dots 2.5)$$

Disini :

ρ = massa jenis (kg/m³)

m = massa (kg)

v = volume (m³)

2.9 *Flash Point* (Titik Nyala)

Flash point adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api²¹. Nilai *flash point* ini didapat dengan menggunakan metode ASTM D-93.

2.10 Nilai Kalor

Nilai kalor rendah (LHV, *Lower Heating Value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat 150°C. Pada temperatur ini air berada dalam kondisi fasa uap. Jika jumlah kalor laten uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran dibuat 25°C maka akan diperoleh nilai kalor atas (HHV, *Higher Heating Value*). Pada temperatur ini air akan berada dalam kondisi fasa cair.

Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan bom kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang

²¹ Sri Risnoyatiningasih. *Biodiesel From Avocado Seeds by Transesterification Process*. (Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN “Veteran” Jawa timur, 2010). Hal. 350

disebut bom dan ditenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan kalor, hal ini menyebabkan suhu kalorimeter naik. Untuk menjaga agar panas yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak menyebar ke lingkungan luar maka kalorimeter dilapisi oleh bahan yang bersifat isolator. Nilai kalor pada penelitian ini didapatkan dengan menggunakan menggunakan ASTM-D-240.