

**MENILAI PRESTASI ENJIN DIESEL MENGGUNAKAN CAMPURAN  
MINYAK SAYURAN DENGAN DIESEL SEBAGAI BAHAN API**

**AHMAD LUTFI BIN DAHARI**

**UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA**

**MENILAI PRESTASI ENJIN DIESEL MENGGUNAKAN CAMPURAN  
MINYAK SAYURAN DENGAN DIESEL SEBAGAI BAHAN API**

**AHMAD LUTFI BIN DAHARI**

**Laporan ini dikemukakan sebagai  
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal-Bendalir**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

**MEI 2013**

### **PENGESAHAN PENYELIA**

“Saya akui bahawa telah membaca laporan ini dan pada pandangan saya laporan ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal-Bendalir)”

Tandatangan : .....

Penyelia : Encik Md Isa Bin Ali

Tarikh : .....

## PENGAKUAN

“Disini saya membuat pengakuan dimana, laporan yang bertajuk laporan projek sarjana muda ini merupakan hasil penyelidikan saya sendiri kecuali seperti yang dipetik dalam sebutan.”

Tandatangan : .....

Nama : Ahmad Lutfi Bin Dahari

Tarikh : .....

*Laporan ini di dedikasikan kepada ibu dan ayah tercinta*

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah kehadiran Illahi kerana limpah kurniaNya dan rahmat kesihatan yang diberikan kepada saya maka saya dapat menyiapkan laporan ini pada masa yang telah ditetapkan dan menjalani Projek Sarjana Muda ini.

Laporan ini juga tidak dapat disiapkan tanpa pertolongan dan dorongan daripada kedua orang tua saya dan juga adik beradik saya. Dengan ini bantuan yang telah diberikan, tidak dapat digambarkan dan dibalas terima kasih sahaja.

Selain itu juga, ucapan jutaan terima kasih juga saya ingin mengucapkan kepada Encik Md Isa bin Ali kerana telah sudi untuk menjadi penyelia Projek Sarjana Muda saya. Tidak lupa juga kepada rakan seperjuangan saya yang telah banyak memberikan tunjuk ajar dan buah fikiran didalam menjayakan projek sarjana muda ini.

Setinggi-tinggi penghargaan terima kasih juga saya ingin ucapkan kepada mereka yang telah terlibat secara tidak langsung mahupun secara langsung didalam menjayakan laporan Projek Sarjana Muda ini.

## ABSTRAK

Penggunaan bahan api fosil semakin meningkat dari sektor pengangkutan dan industri. Ini membawa kepada masalah bekalan dan pencemaran alam sekitar akibat dari emisi enjin. Campuran minyak sayuran kedalam diesel bagi tujuan pembakaran enjin diesel mampu mengurangkan pelepasan gas ekzos yang berbahaya. Kajian terhadap sifat fizikal bahan api akan ditentukan untuk campuran minyak sayuran dengan diesel. Empat minyak sayuran yang diuji adalah minyak zaitun, minyak bunga matahari, minyak sawit dan minyak kelapa. Enjin satu silinder empat lejang diuji pada prestasi dan emisi menggunakan campuran yang mengandungi 5% minyak sayuran dan diesel 95%. Kelikatan, nilai kalori dan ketumpatan bagi campuran bahan api akan ditentukan menggunakan viskometer, hidrometer dan bom kalorimeter. Emisi enjin akan diuji menggunakan penganalisa gas automobil. Rekabentuk eksperimen kaedah Taguchi digunakan untuk mendapatkan campuran minyak sayuran yang dapat memberikan prestasi dan emisi yang optimum. Hasil kajian mendapati campuran minyak sawit dengan diesel memberikan nilai paling optimum dari segi prestasi dan emisi enjin.

## ABSTRACT

The use of fossil fuels is increasing in transportation and industrial sectors. This leads to the problem of supply and environmental pollution due to emissions from the engine. Vegetable oil with diesel blend for diesel engine reduces harmful exhaust emissions. Research on the physical properties of the fuel blend are determined. Four vegetable oils that tested are olive oil, sunflower oil, palm oil and coconut oil. Using four-stroke single cylinder to test engine performance and emission of mixture containing 5% vegetable oil and 95% diesel. Viscosity, calorific value and density of the fuel blend will be determined using a viscometer, hydrometer and a bomb calorimeter. Engine emissions are tested using an automobile gas analyzer. Design of experiment of Taguchi method is used to obtain blend of vegetable oils that give an optimum performance and emission. The study found that a palm oil with diesel blend give the most optimum value in terms of engine performance and emissions.



## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGESAHAN PENYELIA</b>	i
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	x
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xii
<b>BAB 1</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 LATAR BELAKANG KAJIAN	1
	1.2 PERNYATAAN MASALAH	2
	1.3 OBJEKTIF	3
	1.4 SKOP KAJIAN	3
<b>BAB 2</b>	<b>Kajian Ilmiah</b>	
	2.1 PENGENALAN	4
	2.2 BAHAN API	4
	2.2.1 Pengelasan Bahan Api	4
	2.2.2 Bahan Api Fosil	5
	2.2.3 Bahan Api Alternatif	5
	2.2.4 Sifat Bahan Api	5
	2.3 MINYAK SAYURAN	6

2.3.1	Sifat Fizikal Minyak Sayuran	7
2.3.1.1	Nilai Kalori	7
2.3.1.2	Kelikatan	8
2.3.1.3	Takat kilat	8
2.3.1.4	Takat Awan	9
2.3.2	Kegunaan Minyak Sayuran Sebagai Bahan Api.	9
2.3.3	Keburukan Minyak Sayuran Sebagai Bahan Api.	10
2.3.4	Modifikasi Minyak Sayuran Kepada Biodiesel	10
2.3.4.1	Campuran Dengan Diesel	11
2.3.4.2	Pengesteran	11
2.3.4.3	Pirolisis	12
2.3.4.4	Mikroemulsi	13
2.4.	ENJIN DIESEL	14
2.4.1	Pengenalan Enjin Diesel	14
2.4.2	Prinsip Enjin Diesel Kitaran Empat Lejang	14
2.4.3	Sifat Fizikal Diesel	15
2.5	PRESTASI ENJIN	16
2.5.1	Kuasa Brek	16
2.5.2	Daya Kilas	17
2.5.3	Kecekapan Haba Brek (BTE)	17
2.5.4	Penggunaan Bahan Api Tentu Brek (BSFC)	19
2.5.5	Tekanan Berkesan Min Brek (BMEP)	20
2.6	EMISI GAS	20
2.7	KAJIAN TERDAHULU	21
2.8	KAEDAH TAGUCHI	23

### **BAB 3**

### **METADOLOGI**

3.1	PENGENALAN	25
3.2	CARTA ALIR METODOLOGI	26
3.3	PENYEDIAAN SAMPEL	27
3.3.1	Proses Campuran	27
3.3.1.1	Peralatan Eksperimen.	28
3.3.1.2	Prosedur Eksperimen.	28
3.4	PENCIRIAN BAHAN API	29

3.4.1	Menentukan Nilai Kalori	30
3.4.2	Menentukan Nilai Kelikatan	31
3.4.3	Menentukan Nilai Ketumpatan	32
3.5.	UJIAN PRESTASI ENJIN	32
3.5.1	Rekabentuk Eksperimen Menggunakan Kaedah Taguchi.	32
3.5.2	Peralatan Ujian Prestasi Enjin	34
	3.5.2.1 Spesifikasi Enjin	34
3.6	PROSEDUR UJIAN PRESTASI ENJIN.	35
3.7	EMISI GAS	36
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1	SIFAT – SIFAT BAHAN API	38
	4.1.1 Ketumpatan	39
	4.1.2 Kelikatan	40
	4.1.3 Nilai Kalori	41
4.2	PRESTASI ENJIN	42
	4.2.1 Kuasa Brek	42
	4.2.2 Tekanan Berkesan Min Brek (BMEP)	44
	4.2.3 Kecekapan Haba Brek (BTE)	45
	4.2.4 Penggunaan Bahan Api Tentu Brek (BSFC)	46
4.3	EMISI ENJIN	48
	4.3.1 Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	48
	4.3.2 Hidrokarbon (HC)	50
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
5.1	KESIMPULAN	52
5.2	CADANGAN	53
	<b>RUJUKAN</b>	55
	<b>LAMPIRAN</b>	61

## SENARAI JADUAL

<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
1.1	Harga Bagi Minyak Diesel Per Liter	2
2.1	Sifat Fizikal-Kimia Komposisi Minyak Sayuran Dan Diesel	6
2.2	Nilai ketidaktepuan lemak asid pada minyak sayuran	8
2.3	Sifat–Sifat Fizikal Diesel	15
3.1	Penyediaan Sampel Bahan Api	27
3.2	Sifat Bahan Api, Kaedah Ujikaji Dan Peralatan	30
3.3	Faktor dan pembolehubah dalam kaedah taguchi	33
3.4	Rekabentuk Susun Atur Eksperimen	33
3.5	Spesifikasi Enjin	35
3.6	Spesifikasi Penganalisa Gas Automobil	37
4.1	Sifat – sifat campuran bahan api	39
4.2	Jadual Pengoptimum serentak bagi Kuasa	43
4.3	Jadual Pengoptimum serentak bagi BMEP	44
4.4	Jadual Pengoptimum serentak bagi BTE	46
4.5	Jadual Pengoptimum serentak bagi BSFC	47
4.6	Jadual Pengoptimum serentak bagi CO <sub>2</sub> (%)	49
4.7	Jadual Pengoptimum serentak bagi Hidrokarbon (PPM)	50

## SENARAI RAJAH

<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.1	Struktur trigliserida dan prinsip tindak balas 'transesterification'	7
2.2	Hasil proses pengesteran	12
2.3	Proses kimia pengesteran	12
2.4	Kuasa brek diesel dan campuran minyak kelapa	16
2.5	BTE enjin diuji pada diesel dan campuran minyak kelapa	18
2.6	BSFC diesel dan campuran minyak kelapa	19
3.1	Carta Alir Metodologi	26
3.2	'Stirring Hotplate'	28
3.3	'Magnetic Stir Bar'	28
3.4	Bom Kalorimeter	30
3.5	Viskometer	30
3.6	Hidrometer	30
3.7	Susun atur alat eksperimen	34
3.8	Enjin Diesel KM170F(A)	34
3.9	Penganalisa Gas Automobil	36
3.10	Muncung penganalisa gas automobil pada ekzos enjin	37
4.1	Ketumpatan melawan sampel bahan api	39
4.2	Kelikatan melawan sampel bahan api	40
4.3	Nilai kalori melawan sampel bahan api	42
4.4	Nilai kuasa melawan bilangan eksperimen	43
4.5	BMEP melawan bilangan eksperimen	45
4.6	BTE melawan sampel bahan api	46
4.7	BSFC melawan sampel bahan api	48
4.8	CO <sub>2</sub> melawan sampel bahan api	49
4.9	HC melawan sampel bahan api	51

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>BIL.</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
A	CARTA GANTT PROJEK SARJANA MUDA	61
B	PENYEDIAAN SAMPEL	63
C	MAKMAL UJIAN ENJIN	64
D	KEPUTUSAN UJIAN PRESTASI ENJIN	65
E	KEPUTUSAN UJIAN EMISI ENJIN	70

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1,1 LATAR BELAKANG KAJIAN**

Dewasa ini, kebergantungan dunia pada bahan api fosil semakin meningkat. Fakta ini didapati pada tahun 2007, Pentadbiran Penerangan Tenaga Amerika Syarikat menganggarkan bahawa 86.4% penggunaan tenaga sedunia berpunca dari bahan api fosil, iaitu 36.0% petroleum, 27.4% arang, 23.0% gas asli. Sumber bukan fosil pada tahun 2006 termasuk hidroelektrik 6.3%, nuklear 8.5%, dan lain-lain (geoterma, suria, ombak, angin, kayu, sisa) 0.9%. Penggunaan tenaga sedunia meningkat kira-kira 2.35% setahun.

Permintaan terhadap bahan api fosil meningkat bagi kegunaan pengangkutan dan perindustrian. Oleh kerana peningkatan penggunaan dan permintaan ke atas bahan api, harga telah meningkat dengan pesat seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.1 di bawah.

Jadual 1.1: Harga Bagi Minyak Diesel Per Liter  
(Sumber Jabatan Perangkaan Malaysia)

Tempoh	Harga (RM per liter)
Jan 2009	RM 1.730
Apr 2009	RM 1.967
Sept 2009	RM 2.296
Dis 2009	RM 2.395
Mei 2010	RM 2.462

Bahan api alternatif seperti biodiesel, bioethanol dan bahanapi-bio dikaji sebagai langkah mengurangkan kebergantungan bahanapi fosil. Salah satu bahan api alternatif yang banyak digunakan sekarang adalah biodiesel. Biodiesel adalah produk dari proses pengesteran minyak sayuran dan diesel dengan menggunakan pemangkin. Proses ini memerlukan kos yang tinggi. Manakala bahanapi-bio pula terhasil dari campuran diesel dan minyak sayuran. Proses ini jauh lebih murah kerana tidak memerlukan proses pengesteran.

## 1.2 PERNYATAAN MASALAH

Pengesteran digunakan secara meluas untuk menukar minyak sayur-sayuran kepada biodiesel. Walau bagaimanapun, ia memerlukan tenaga kerja yang mahir, pemantauan rapi untuk proses kimia dan kos logistik yang mahal. Ini menambahkan kepada kos bahan api. Di Malaysia, terdapat banyak minyak sayuran, dan disebabkan kekurangan tenaga kerja mahir dan proses yang memakan masa, minyak tidak dapat diproses untuk ditukar kepada biodiesel. Oleh itu, campuran minyak sayuran dengan diesel adalah satu kaedah alternatif untuk mengurangkan pergantungan pada diesel. Kajian ini dilakukan untuk mengurangkan kos dan lebih mesra alam dengan menggunakan kaedah campuran minyak sayuran dan diesel. Dalam kajian ini minyak sayuran yang digunakan adalah minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak zaitun dan minyak bunga matahari.



### 1.3 OBJEKTIF

Objektif utama dalam projek ini adalah untuk:

- i. Menentukan prestasi dan emisi enjin dengan menggunakan campuran minyak sayuran dengan diesel sebagai bahan api .
- ii. Mendapatkan prestasi dan emisi yang optimum menggunakan kaedah parameter Taguchi.

### 1.4 SKOP KAJIAN

Minyak sayuran seperti minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak zaitun dan minyak bunga matahari akan dicampur dengan diesel dalam perkadaran yang sama iaitu 5% minyak sayuran dan 95% diesel. Sifat fizikal dan kimia yang ada pada campuran bahan api minyak sayuran dan diesel seperti kelikatan, ketumpatan dan nilai kalori akan ditentukan dan dibandingkan. Manakala bagi ujian prestasi dan emisi enjin akan diukur dari segi kuasa, penggunaan bahan api tentu (BSFC), tekanan berkesan min brek (BMEP) kecekapan haba brek (BTE), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hidrokarbon (HC).

## **BAB 2**

### **KAJIAN ILMIAH**

#### **2.1 PENGENALAN**

Bab ini membentangkan kajian ilmiah yang berkaitan dalam bidang bahanapi-bio sebagai mewujudkan asas teori untuk penyelidikan. Antara yang akan diterangkan adalah bahan api, minyak sayuran, prestasi dan emisi enjin diesel dan kaedah Taguchi.

#### **2.2 BAHAN API**

Bahan api adalah bahan seperti arang, gas atau minyak yang menghasilkan haba atau kuasa apabila dibakar. Proses lain yang digunakan untuk menukarkan bahan api kepada tenaga termasuk pelbagai tindakbalas kimia eksotermik dan tindakbalas nuklear seperti pembelahan atau pelakuran nuklear.

##### **2.2.1 Pengelasan Bahan Api**

Pada asasnya, bahan api boleh diklasifikasikan sebagai dua jenis iaitu:-

- a. Utama (bahan api fosil)
- b. Sekunder (bahan api tiruan).

Bahan api utama terdiri dari tiga jenis iaitu pepejal (kayu, arang batu, tahi lembu, dan lain-lain), cecair (minyak mentah) dan gas (gas asli). Bahan api sekunder

juga terdiri dari tiga jenis, pepejal (arang, petroleum), cecair (diesel, petrol, tar, minyak tanah, LPG) dan gas (gas relau letupan, gas arang batu, gas ketuhar).

### **2.2.2 Bahan Api Fosil**

Bahan api fosil merupakan bahan api yang terbentuk daripada proses-proses semula jadi seperti pereputan anaerobik hidupan mati yang tertanam. Usia hidupan itu dan bahan api fosil yang terbentuknya lazimnya sekitar jutaan tahun, yang paling lama melebihi 650 juta tahun. Bahan api fosil mengandungi kandungan karbon yang tinggi. Antara jenis bahan api fosil ialah arang, petroleum, dan gas asli. Bahan api fosil merupakan sumber yang tidak boleh dibaharui kerana memakan masa jutaan tahun untuk terbentuk, simpanannya lebih cepat dihabiskan daripada penemuan simpanan baharu. Pengeluaran dan penggunaan bahan api fosil juga mencemarkan alam sekitar, maka masyarakat dianjurkan untuk memupuk penggunaan tenaga boleh diperbaharui untuk menampung keperluan tenaga yang meningkat.

### **2.2.3 Bahan Api Alternatif**

Biodiesel merujuk kepada bahan api yang bukan berasaskan petroleum. Biodiesel terhasil dari minyak sayuran atau lemak haiwan. Biodiesel boleh diguna secara terus ataupun dicampur dengan bahan lain. Biodiesel terdiri dari ester dan asid lemak berantai panjang. Kelebihannya ialah tidak bertoksik dan kurang pencemaran alam. Kajian lebih lanjut diperlukan untuk menjadikan kos dan penggunaannya lebih berkesan.

### **2.2.4 Sifat Bahan Api**

Beberapa sifat fizikal dan kimia bahan api yang ada pada minyak sayuran dan diesel diberikan dalam Jadual 2.1.

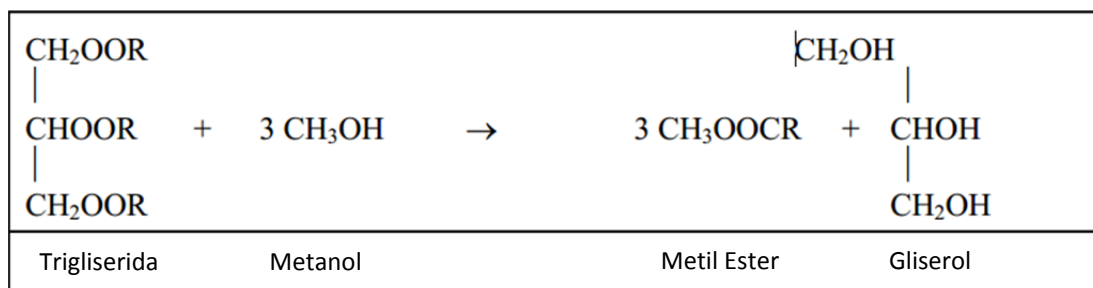
Jadual 2.1: Sifat Fizikal–Kimia komposisi minyak sayuran dan diesel

(Sumber: Ayhan Demirbas, 2008)

Perkara	Diesel	Minyak Bunga Matahari	Minyak Kelapa Sawit	Minyak Zaitun
Kandungan haba (MJ kg <sup>-1</sup> )	43.8	39.59	39.74	39.50
Ketumpatan pada 15 °C (kg liter <sup>-1</sup> )	0.84	0.916	0.923	0.918
Kelikatan pada 20 °C (cSt)	3.6	33.9	24.1	29.8
Titik kilat (Kelvin)	343.15	535	501	504

### 2.3 MINYAK SAYURAN

Kebanyakan minyak sayuran adalah trigliserida. (TGs; trigliserida = TG). Secara kimia, TGs adalah ‘ester triacylglyceryl’ pelbagai asid lemak dan gliserol. Sungguhpun dianggap sebagai ester bagi gliserin dan pelbagai campuran asid lemak, sebenarnya minyak ini adalah mengandungi asid lemak bebas dan juga digliserida. Bahan terbitan yang paling biasa bagi TGs (atau asid lemak) untuk bahan api adalah metil ester. Ini adalah dibentuk oleh pengesteran TG dengan metanol dalam kehadiran pemangkin asas untuk memberi metil ester dan gliserol (Rajah 2.1). Alkohol telah digunakan untuk menjana ester, sebagai contoh, etil, propil, dan butil ester.



Rajah 2.1: Struktur trigliserida dan prinsip tindakbalas pengesteran

(Sumber: Edward Antwi, 2008a)

### 2.3.1 Sifat Fizikal Minyak Sayuran

Terdapat banyak ciri-ciri fizikal dan kimia bagi minyak sayuran, namun hanya sifat-sifat seperti kelikatan, ketumpatan, nilai kalori, takat awan dan titik kilat yang berkaitan dengan penggunaannya sebagai bahan api dalam enjin diesel akan dibincangkan.

#### 2.3.1.1 Nilai Kalori

Nilai Kalori minyak sayuran adalah umumnya lebih rendah daripada diesel. Ini adalah kerana tahap ketidaktepuan lemak asid dalam minyak sayuran lebih tinggi berbanding diesel (Agarwal *et. al.* 2007a). Semakin tinggi ketidaktepuan minyak sayuran (Jadual 2.2), semakin banyak kehilangan molekul atom hidrogen yang terbakar. Walaupun kandungan oksigen yang tinggi dalam bahan api membantu pembakaran dan menyebabkan emisi yang rendah, ia juga membawa kepada nilai kalori yang rendah dan mengakibatkan kehilangan kuasa enjin (Murillo *et al.*, 2007a). Akuffo *et. al.* (1987a) dan Opoku dan Anison, (2003) melaporkan nilai kalori yang lebih rendah bagi minyak kelapa, minyak jatropha, minyak sawit dan minyak kacang soya berbanding dengan diesel. Kesan nilai kalori yang rendah akan mengurangkan kuasa enjin dan meningkatkan penggunaan bahan api tentu (BSFC) (Akuffo *et al.*, 1987b; Peterson dan Jones, 2001; Labeckas dan Slavinskis, 2005a)

Jadual 2.2 Nilai ketidaktepuan lemak asid pada minyak sayuran

(Sumber: Edward Antwi,2008b)

Jenis Minyak	Ketidaktepuan lemak asid
Kelapa	6.000
Kelapa Sawit	37.000
Bunga Matahari	45.400
Zaitun	72.00

### 2.3.1.2 Kelikatan

Kelikatan minyak sayuran adalah ciri tunggal yang paling penting bagi minyak sayuran yang menghalang penggunaannya sebagai pengganti bahan api diesel dalam enjin diesel. Kelikatan minyak sayuran yang paling tinggi telah didapati sebanyak 10-20 kali lebih tinggi daripada enjin diesel (Agarwal, 2007b; Elsbett dan Bialkowsky, 2003a; Shahid dan Jamal 2007a; Demribas, 2007). Nilai kelikatan bergantung kepada panjang karbon di mana makin panjang rangkaian karbon, makin tinggi kelikatan minyak itu (Abramovic dan Klofutor, 1998). Kelikatan yang tinggi telah dilaporkan mempunyai kesan pada pengatoman bahan api iaitu saiz titisan yang besar membawa kepada tempoh tunda yang lama (Agarwal *et. al.* 2007c). Elsbett dan Bialkowsky (2003b) dan Shahid dan Jamal (2007b) telah melaporkan bahawa kelikatan minyak sayuran yang tinggi meningkatkan kehausan enjin.

### 2.3.1.3 Takat Kilat

Takat kilat bahan api adalah suhu terendah di mana bahan api akan terbakar apabila terdedah kepada percikan api. Minyak sayuran telah dilaporkan mempunyai takat kilat yang lebih tinggi daripada diesel sebagai hasil daripada ini, nisbah mampatan yang lebih tinggi diperlukan jika minyak sayuran digunakan sebagai bahan api enjin diesel (Agarwal *et. al.* 2007d; Reddy dan Ramesh, 2005; Elsbett dan Bialkowsky, 2003c). Tahap ketidaktepuan minyak tidak mempunyai apa-apa kesan ke atas takat kilat (Strayer *et. al.* 2006). Takat kilat yang tinggi memastikan

pengangkutan dan penyimpanan yang selamat bagi minyak sayuran (Tyson, 2001; Elsbett dan Bialkowsky, 2003d).

#### 2.3.1.4 Takat Awan

Takat awan adalah suhu terendah di mana asap tebal mula terbentuk di dalam bahan api (Engine Manufacturers Association, 2006). Minyak sayuran umumnya mempunyai takat awan yang lebih tinggi daripada minyak diesel. Takat awan minyak adalah petunjuk keupayaan bahan api untuk beroperasi di bawah keadaan sejuk kerana ia membawa kepada sekatan penapis bahan api. Ciri minyak ini tidak penting di kawasan tropika di mana suhu persekitaran yang tinggi.

### 2.3.2 Kegunaan Minyak Sayuran Sebagai Bahan Api.

Minyak sayuran merupakan sumber yang dapat diperbaharui. Pada proses pembakaran biodiesel (pengesteran minyak sayuran) gas oksigen akan bergabung dengan molekul karbon membentuk karbon dioksida. CO<sub>2</sub> yang dibebaskan akan digunakan semula dalam proses fotosintesis tumbuhan. Melalui proses fotosintesis, tumbuhan akan hidup dengan subur dan lebih banyak biodiesel dapat dihasilkan.

Minyak sayuran merupakan bahan api oksida dan kurang menyebabkan pencemaran hidrokarbon. Masjuki *et. al.* (1996) telah mengkaji prestasi enjin diesel 4 lejang yang menggunakan bahan api metil ester minyak sayuran (kelapa sawit). Melalui kajian ini, mereka mendapati pencemaran hidrokarbon bagi minyak kelapa sawit tersebut adalah jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan diesel. Ini kerana di dalam minyak sayuran terdapat molekul oksigen semulajadi yang boleh membantu pembakaran dan mengurangkan pembentukan hidrokarbon. Minyak sayuran mempunyai kandungan tenaga yang tinggi berbanding alkohol. Minyak sayuran mempunyai 10% kurang kandungan haba berbanding diesel. Ini disebabkan terdapat molekul oksigen dan kelikatan yang tinggi pada minyak sayuran berbanding diesel (Agarwal, 2005a)

### **2.3.3 Keburukan Minyak Sayuran Sebagai Bahan Api.**

Penggunaan minyak sayuran sebagai bahan bakar bagi enjin diesel sebenarnya mempunyai kesan buruk kepada enjin itu sendiri. Kesan buruk ini boleh dibahagikan kepada dua iaitu kesan buruk pada jangka masa pendek dan kesan buruk pada jangka masa panjang pada enjin diesel. Permasalahan pada jangka masa pendek ialah enjin sukar dihidupkan, penapis dan pemancit minyak mudah tersumbat dan ketukan enjin berlaku. Kesemua masalah ini berlaku disebabkan oleh minyak sayuran mempunyai kelikatan yang tinggi, setana yang rendah dan juga sukar meruap berbanding diesel. Minyak sayuran juga mempunyai gam semulajadi di dalam molekul sebatianannya yang menyebabkan penapis minyak mudah tersumbat. (Prasad and Srivastava 2000a)

Permasalahan pada jangka masa panjang pula ialah kehausan pada komponen enjin, minyak pelincir menjadi cair dan mendapan karbon pada piston dan injap. Komponen enjin menjadi haus kerana terdapat asid lemak pada minyak sayuran yang boleh menghakis komponen enjin seperti piston. Minyak pelincir menjadi cecair pula disebabkan oleh terdapat sebatian tidak larut hasil daripada pempolimeran minyak sayuran pada kebuk pembakaran. (Prasad and Srivastava 2000b)

### **2.3.4 Modifikasi Minyak Sayuran Kepada Biodiesel**

Penggunaan minyak sayuran sebagai bahan api dalam enjin diesel telah diperkenalkan sejak dahulu lagi oleh Rudolf Diesel. Pada tahun 1912, Beliau melaporkan bahawa penggunaan minyak sayuran tidak lagi sesuai untuk dijadikan bahan api dalam enjin diesel. Ini disebabkan oleh kelikatan yang tinggi dalam minyak sayuran. Seperti yang telah dibincangkan, kelikatan yang tinggi menyebabkan pembakaran tidak sempurna, penyuntik tersumbat dan kehausan enjin. Kelikatan yang tinggi juga menyebabkan nilai kalori rendah yang membawa kepada kuasa enjin yang rendah dan penggunaan bahan api tentu yang tinggi. Modifikasi minyak sayuran perlu dilakukan untuk mengurangkan kelikatan tinggi dalam minyak sayuran. Antara modifikasinya ialah :