

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biodiesel (*Methyl Ester*)

Biodiesel atau juga disebut dengan *Methyl Ester* adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewan (Gordon Blair, 2005). Biodiesel adalah transformasi energi dari energi matahari menjadi energi kimia yang kemudian melalui mesin diesel menjadi energi kinetik yang paling mudah, bersih dan efisien. Biodiesel adalah bahan bakar yang dapat diperbaharui serta mempunyai kesetimbangan yang tinggi. Bahan bakar ini tidak hanya dapat diproduksi dari minyak nabati dan hewani yang baru, namun dapat juga diproduksi dari minyak bekas (*waste cooking oil*). Siklus hidup gas rumah kaca biodiesel 55% lebih rendah dibandingkan gas yang sama yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak bumi (Rory Clarke, 2005)

Biodiesel mengandung racun yang sangat rendah, biodegradabilitas yang baik dimana biodiesel dapat didegradasi secara biologis empat kali lebih cepat daripada bahan bakar diesel minyak bumi, yakni mencapai 98% dalam tiga minggu. Biodiesel memiliki titik bakar (*flash point*) yang lebih tinggi dibanding bahan bakar minyak bumi petrodiesel/solar sehingga tidak secara spontan meletup atau menyala dalam keadaan normal. Bahan bakar ini lebih sedikit mengandung racun dibanding garam meja dan lebih aman bagi kulit dibandingkan dengan sabun.

Mesin diesel masa kini memerlukan proses pembakaran yang bersih dan bahan bakar yang stabil pada berbagai kondisi. Biodiesel hingga saat ini adalah satu-satunya bahan bakar alternatif yang dapat digunakan langsung pada mesin diesel tanpa modifikasi yang berarti. Biodiesel dapat dicampur dalam berbagai perbandingan dengan solar minyak bumi. Campuran 20% biodiesel dan 80% bahan bakar diesel minyak bumi disebut dengan B20, saat ini telah populer sebagai bahan bakar alternatif di Amerika Serikat terutama untuk bus atau truk. Emisi gas buang yang rendah membuat biodiesel bahan bakar yang ideal untuk mendukung kelestarian lingkungan.

Bila 0,4-5% biodiesel dicampur dengan bahan bakar diesel minyak bumi otomatis akan meningkatkan daya lumas bahan bakar. Biodiesel mempunyai rasio

keseimbangan energi yang baik. Rasio keseimbangan energi biodiesel minimum 1 sampai 2,5, artinya untuk setiap satu unit energi yang digunakan pada pupuk, pestisida, bahan bakar, pemurnian, prosesing dan transportasi minimum terdapat 2,5 unit energi dalam biodiesel. Energi yang dikandung dalam biodiesel lebih rendah daripada petrodiesel dapat diimbangi oleh peningkatan efisiensi pembakaran biodiesel sekitar 7%. Kinerja sebagian besar kendaraan yang menggunakan biodiesel tidak menunjukkan pengaruh yang berarti.

### 2.1.1 Biodiesel Minyak Jelantah

Indonesia sangat potensial dalam pengembangan biodiesel karena merupakan produsen minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm oil*) terbesar kedua di dunia. Indonesia dengan penduduk saat ini berkisar 230 juta yang mengkonsumsi minyak goreng sebagai salah satu dari sembilan bahan pokok, menghasilkan sebanyak kurang lebih dari 3,9 juta ton minyak jelantah per tahun. Penggunaan minyak goreng bekas kelapa sawit atau minyak jelantah sebagai biodiesel secara teknis lebih menguntungkan karena telah melalui berbagai proses penghilangan *impurities* kandungan asam lemak dan lemak padat. Secara ekonomis penggunaan minyak jelantah sebagai bahan dasar biodiesel juga sangat menguntungkan karena minyak jelantah merupakan limbah yang sudah tidak digunakan lagi sehingga dapat diperoleh secara gratis namun dapat pula diperoleh dengan harga yang murah.

Penggunaan minyak goreng yang benar menurut ilmu kesehatan hanya dapat digunakan paling banyak empat kali penggorengan atau pemanasan karena setelah melampaui empat kali pemanasan telah mengandung radikal bebas yang dapat merugikan kesehatan sampai dengan dapat berkembangnya sel kanker di tubuh manusia. Pendidikan dan penyuluhan kesehatan serta pengawasan dari pemerintah dalam penggunaan minyak goreng disamping dapat memberikan jaminan kesehatan bagi masyarakat juga dapat menjamin pasokan bahan baku biodiesel berbasis minyak jelantah.

Bila dibandingkan bahan bakar diesel berbasis minyak bumi, biodiesel minyak jelantah memiliki stabilitas oksidasi yang lebih rendah begitu pula *blending* biodiesel dengan solar, stabilitas oksidasi menentukan stabilitas

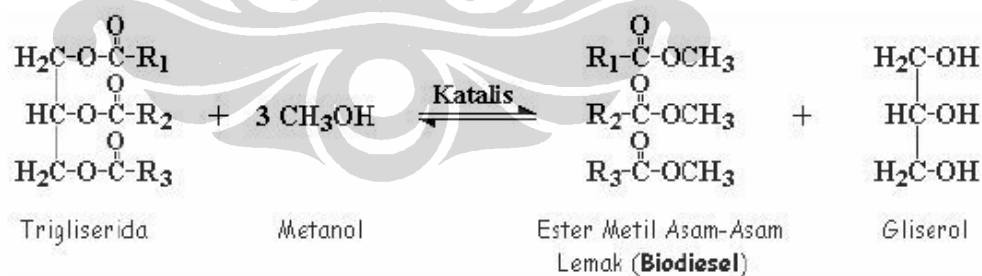
penyimpanan bahan bakar dan stabilitas oksidasi yang memadai terhadap bahan bakar apapun merupakan persyaratan dasar untuk menjamin pengoperasian *fuel injection* (injeksi bahan bakar) mesin diesel yang baik dan bebas dari kerusakan.

Secara ekonomis penggunaan minyak jelantah sebagai bahan dasar biodiesel juga sangat menguntungkan karena minyak jelantah merupakan limbah yang sudah tidak digunakan lagi sehingga dapat diperoleh secara gratis ataupun dapat pula diperoleh dengan harga yang murah.

### 2.1.2 Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah

Proses pembuatan biodiesel minyak jelantah adalah dengan proses reaksi transesterifikasi. Transesterifikasi adalah proses dengan menggunakan alkohol (methanol atau ethanol) dalam hal ini menggunakan methanol dengan katalis sodium hidroksida (NaOH) atau potassium hidroksida (KOH) dalam hal ini dengan NaOH, yang digunakan untuk mengubah molekul asam lemak tak jenuh menjadi asam lemak jenuh. Karena menggunakan methanol akan terbentuk metil ester (biodiesel) dan gliserol. Proses transesterifikasi minyak jelantah relatif lebih singkat dibanding minyak baru karena komposisi kimia tertentu dan kandungan asam lemak jenuh yang cukup tinggi.

Proses reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel seperti :

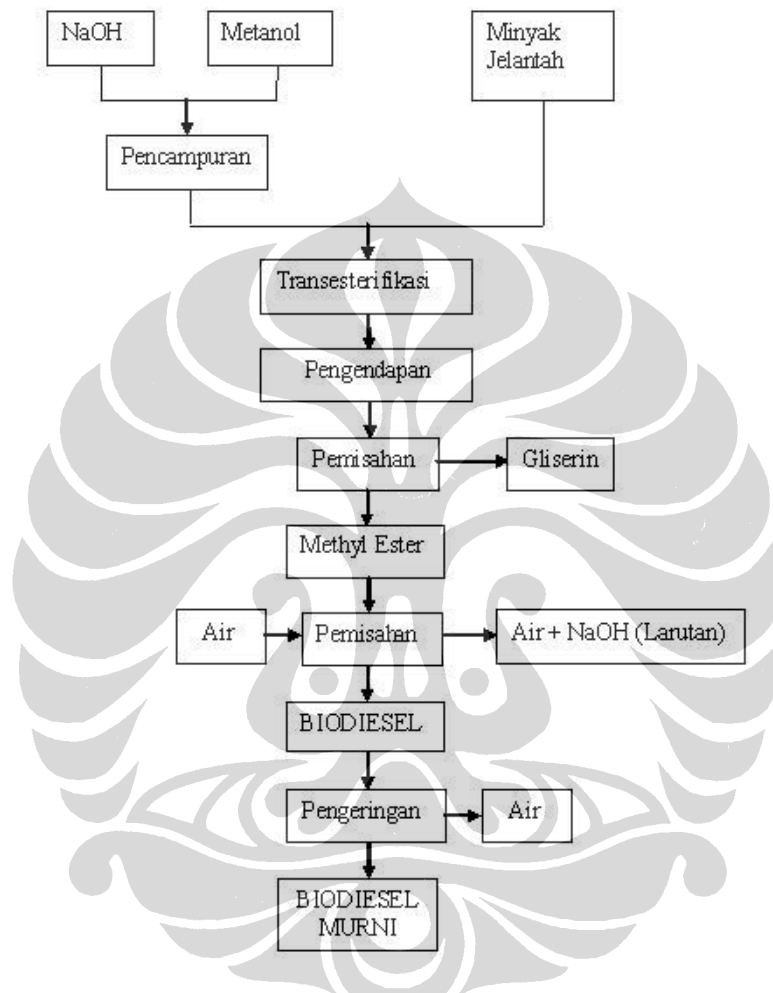


Gambar 2.1 Reaksi Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan reaksi kimia yang menggantikan gugus gliserin (gliserol) dalam molekul minyak nabati (trigliserida) dengan molekul monoalkohol seperti methanol. Reaksi ini terjadi dengan mencampur minyak nabati dengan larutan NaOH dalam methanol (sodium methoxide) dan akan

menghasilkan produk biodiesel (methyl ester) dan gliserin sebagai produk sampingnya. Gliserin juga bernilai ekonomi cukup tinggi dan sangat luas digunakan sebagaibahan dasar produk industry, seperti sabun dan kosmetik.

Adapun proses pembuatan biodiesel jelntah seperti pada *Flow Chart* :



Gambar 2.2 Flow Chart Pembuatan Biodiesel Jelantah

### 2.1.3 Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah

EN 14214 merupakan standar internasional yang menggambarkan persyaratan minimal biodiesel, standar Eropa yang disahkan oleh CEN (Komite Eropa untuk Standarisasi) pada tanggal 14 Februari 2003, waktu pemberlakuannya berbeda dari tiap Negara dimana Finlandia mulai memberlakukan pada 8 Maret 2004. Standar ini mendunia berdasar DIN 51606. ASTM dan EN menggunakan

metode yang serupa untuk analisis GC, khususnya mengenai kandungan metanol metode EN dianggap dapat digunakan oleh ASTM.

Campuran (*blends*) ditulis sebagai “B” dengan diikuti angka. B99 berarti 99% biodiesel murni dan 1% fossildiesel/solar murni. B20 berarti 20% biodiesel dan 80% fossildiesel. Kandungan racun (*toxicity*) bahan bakar akan naik proporsional dengan turunnya kandungan biodiesel.

Adapun standar Eropa EN 14214 adalah :

Tabel 2.1 Standar Biodiesel Eropa

Property	Units	lower limit	upper limit	Test-Method
Ester content	% (m/m)	96,5	-	pr EN 14103d
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 / EN ISO 12185
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Flash point	°C	> 101	-	ISO CD 3679e
Sulfur content	mg/kg	-	10	-
Tar remnant (at 10% distillation remnant)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Cetane number	-	51,0	-	EN ISO 5165
Sulfated ash content	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Water content	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	-	24	EN 12662
Copper band corrosion (3 hours at 50 °C)	rating	Class 1	Class 1	EN ISO 2180
Thermal stability	-	-	-	-
Oxidation stability, 110°C	hours	6	-	EN 14112
Acid value	mg KOH/g	-	0,5	pr EN 14104
Iodine value	-	-	120	pr EN 14111
Linolenic Acid Methyl ester	% (m/m)	-	12	pr EN 14103d
Polyunsaturated (>= 4 Double bonds) Methyl ester	% (m/m)	-	1	pr EN 14103
Methanol content	% (m/m)	-	0,2	pr EN 14110i
Monoglyceride content	% (m/m)	-	0,8	pr EN 14105m
Diglyceride content	% (m/m)	-	0,2	pr EN 14105m
Triglyceride content	% (m/m)	-	0,2	pr EN 14105m
Free Glycerine	% (m/m)	-	0,02	pr EN 14105m / pr EN 14106
Total Glycerine	% (m/m)	-	0,25	pr EN 14105m
Alkali Metals (Na+K)	mg/kg	-	5	pr EN 14108 / pr EN 14109
Phosphorus content	mg/kg	-	10	pr EN14107p

Spesifikasi Biodiesel sesuai Standar Nasional Indonesia/ SNI 04-7182-2006 adalah :

Tabel 2.2 Standar Biodiesel Indonesia

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m <sup>3</sup>	850-890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm <sup>2</sup> /s(cst)	2.3-60
3	Angka setana		Min 51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°c	Min 100
5	Titik kabut	°c	Maks 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 0C)		Maks no 3
7	Residu karbon Dalam contoh asli Dalam 10% ampas distilasi		Maks 0.05 Maks 0.30
8	Air dan sedimen	% vol	Maks 0.5*
9	Temperatur destilasi 90%	0c	Maks 360
10	Abu tersulfatkan	% massa	Maks 0.02
11	Belerang	ppm-m (mg/kg)	Maks 100
12	Fosfor	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 9g-I <sub>2</sub> /100 g)	Maks 115
18	Uji Helphen		Negatif
catatan: *dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0.01% vol			

Berdasarkan laporan hasil uji laboratorium Lemigas terhadap biodiesel minyak jelantah produksi PT. Bumi Energi Equatorial (PT.BEE) Bogor dan hasil uji stabilitas oksidasi Laboratorium Analisis Pangan Institut Pertanian Bogor, diperoleh karakteristik biodiesel jelantah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah

No.	Uraian	Satuan	Standard		Used Frying Oil Biodiesel	Metode	Hasil Biodiesel
			Solar	Biodiesel			
1	Viskositas pd 40 °C	cSt	1.6-5.8	2.3-6	2.77	ASTM D 445	Memenuhi
2	Densitas pd 40 °C	gr/cm <sup>3</sup>	0.82-0.87	0.85-0.90	0.8794	ASTM D 1298	Memenuhi
3	Total Acid Number (TAN)	mgKOH/gr	< 0.6	< 0.8	0.6987	ASTM D 664	Memenuhi
4	Flash point	°C	> 100	> 100	211	ASTM D 93	Memenuhi
5	Cloud point	°C	< 18	< 18	20	ASTM D 2500	Tdk Memenuhi
6	Korosi lempeng tembaga (3jam pada 50°C)	-		maks no.3	1b	ASTM D 130	Memenuhi
7	Micro Carbon Residue	%wt		< 0.3	0.1323	ASTM 4530	Memenuhi
8	Water content	% vol	< 0.05	< 0.05	0	ASTM D 2709	Memenuhi
9	Belerang	%wt		< 0.0001	0.0026	ASTM D 1266	Tdk Memenuhi
10	Fosfor	%wt		< 0.00001	0.003	ASTM D 1091	Tdk Memenuhi
11	Total glycerol	% wt	-	< 0.24	0.2134	FBI A-02-03	Memenuhi
12	Free glycerol	% wt	-	< 0.2	0.0204	FBI A-02-03	Memenuhi
13	Kadar ester alkil	%wt		< 96.5	83.2302	AOCS	Memenuhi
14	Iodium Number	%		< 115	38.2693	AOCS	Memenuhi
15	Bilangan Setana	-	> 45	> 51	62.4	ASTM D 613	Lebih tinggi
16	Stabilitas Oksidasi	jam		1,6	min 6 (110°C)	EN 14112	Tdk Memenuhi
17	Nilai Kalor Bawah (LHV)	kJ/kg	45300	-	36428.8	ASTM D 240	Lebih rendah
18	Uji Halpen	-	-	Negatif	Negatif	ASTM D 240	Memenuhi

Sumber: Pertamina, BPPT, SNI Biodiesel No. 04-7182-2006, Lemigas 20 Nopember 2007

## 2.2 Bahan Bakar Diesel

Mesin diesel dewasa ini secara luas menggunakan bahan bakar petroleum diesel atau yang berbasis minyak bumi. Bahan bakar ini di Indonesia lebih dikenal dengan nama solar. Berdasarkan jenis putaran mesinnya, mesin diesel dibagi menjadi 2 jenis, antara lain :

- a. Automotive Diesel Oil. Bahan bakar ini khusus digunakan untuk mesin yang memiliki kecepatan putar diatas 1000 rpm. Bahan bakar jenis inilah yang biasa kita kenal dengan nama solar, pada umumnya digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor.
- a. Industrial Diesel Oil. Bahan bakar jenis ini digunakan untuk mesin-mesin yang memiliki putaran mesin kurang dari 1000 rpm. Bahan bakar ini biasa disebut dengan minyak diesel.

Khusus untuk mesin-mesin yang memiliki putaran tinggi (diatas 1000 rpm), bahan bakarnya memiliki karakteristik yang diperlukan berhubungan dengan *auto ignition*, kemampuan mengalir dalam saluran bahan bakar, kemampuan untuk teratomisasi, kemampuan lubrikasi, nilai kalor dan karakteristik lain.

Karakteristik dari bahan bakar solar sesuai SK Dirjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006:

Tabel 2.4 Karakteristik Bahan Bakar Solar :

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	% v/v	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi
17	Partikulat	mg/l	≤10	-

\*) SK Dirjen Migas No. 3675/24/DJM/2006 memperbolehkan penambahan bioetanol sampai dengan 10% (v/v)

## 2.3 Karakteristik Bahan Bakar

### 2.3.1 Stabilitas Oksidasi

Oksidasi adalah suatu proses yang dapat berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak atau lemak. Cara termudah untuk mengetahui bahwa telah terjadi reaksi oksidasi pada minyak atau lemak adalah dengan adanya bau tengik/*rancid* pada minyak atau lemak. Oksidasi biasanya dimulai dengan pembentukan peroksida dan hidroperoksida. Tingkat selanjutnya ialah terurainya asam-asam lemak disertai dengan konversi hidroperoksida menjadi aldehid dan keton serta asam-asam bebas. *Rancidity* terbentuk oleh aldehid bukan oleh peroksida. Jadi kenaikan *peroxide value* (PV) hanya sebagai indikator dan peringatan minyak akan berbau tengik.



Asam lemak pada umumnya bersifat semakin reaktif terhadap oksigen dengan bertambahnya jumlah ikatan rangkap pada rantai molekul. Sebagai contoh asam linoleat lebih mudah daripada asam oleat pada kondisi yang sama. Di samping itu variasi stabilitas asam lemak terhadap oksidasi dipengaruhi juga oleh sumber asam lemak.

Dibandingkan dengan minyak bumi, biodiesel mempunyai stabilitas oksidasi lebih rendah. Sebagai bahan bakar otomotif, biodiesel harus memenuhi standar EN 14214 tentang stabilitas oksidasi. Kerusakan minyak dan lemak karena oksidasi diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

*a. Auto-oxidation*

Terjadi apabila lemak dan minyak terpapar udara pada temperature ruang, dan proses oksidasi terjadi secara perlahan-lahan sehingga peroksida akan terakumulasi di dalam minyak dan lemak.

*b. Thermal oxidation*

*Thermal oxidation* adalah suatu fenomena dimana laju reaksi oksidasi meningkat pada lemak dan minyak karena temperatur yang tinggi. Produknya selain hidrogen peroksida juga berupa komponen karbonil seperti aldehid atau polimer sehingga kekentalannya meningkat.

Stabilitas oksidasi merupakan parameter yang penting karena sangat berpengaruh terhadap operasional mesin, baik jangka pendek maupun jangka panjang. Kualitas biodiesel dengan standar stabilitas oksidasi EN 14112 adalah biodiesel yang diuji harus memiliki stabilitas oksidasi minimal 6 jam.

Penggunaan biodiesel yang tidak memenuhi standar oksidasi, dalam jangka panjang akan merusak elemen mesin, seperti injector, tangki bahan bakar dan pada mesin.



Gambar 2.3 Akibat Penggunaan Tidak Sesuai Standar

### 2.3.1.1 Faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Oksidasi

Faktor yang dapat mempercepat reaksi oksidasi adalah :

- a. Radiasi, seperti oleh panas dan cahaya.  
Kecepatan oksidasi minyak dan lemak yang dibiarkan terpapar di udara akan bertambah dengan naiknya suhu dan akan berkurang dengan turunnya suhu. Kombinasi dari oksigen dan cahaya akan mempercepat proses oksidasi.
- b. Bahan pengoksidasi (oxidizing agent) misalnya peroksida, perasid, ozon, asam nitrat serta beberapa senyawa organik nitro dan aldehida aromatik.
- c. Katalis metal khususnya garam dari beberapa macam logam berat.
- d. Sistem oksidasi, seperti adanya katalis organik yang labil terhadap panas.

### 2.3.2 Berat spesifik (*specific gravity*)

Adalah berat dari suatu fluida dengan volume tertentu dibandingkan dengan berat air pada volume yang sama yang diukur pada temperatur yang sama.

### 2.3.3 Kekentalan (*viscosity*)

Viskositas atau kekentalan adalah ukuran ketahanan dari suatu fluida untuk mengalir. Viskositas menjadi parameter penting pada bahan bakar karena mempengaruhi proses atomisasi bahan bakar pada saat injeksi, rugi-rugi aliran pada saluran bahan bakar pada komponen pompa injeksi bahan bakar.

### 2.3.4 Angka setana (*Cetane number*)

Adalah kualitas penyalaan dari bahan bakar. Semakin tinggi angka setana semakin mudah bahan bakar menyala. Angka setana berkisar 0-100.

### 2.3.5 Suhu didih (*boiling temperature*)

Adalah suhu dimana bahan bakar tersebut mulai mendidih. *Boiling temperature* pada bahan bakar tidak berupa titik, tetapi berupa kurva dimana harganya bergantung kepada % uap bahan bakar.

### 2.3.6 Temperatur penyalaan (*ignition temperature*)

Adalah suhu minimum yang menyebabkan terbakar sendiri (*self ignition*) pada bahan bakar tanpa adanya sumber percikan api dari luar.

### **2.3.7 Titik nyala (*flash point*)**

Adalah suhu minimum yang menyebabkan bahan bakar pada bejana terbuka mulai menguap membentuk campuran dengan udara yang mudah terbakar (*inflammable mixture*) dapat terbakar karena adanya percikan api.

### **2.3.8 Kualitas penyalaan (*ignition quality*)**

Kualitas penyalaan dari bahan bakar mesin diesel dinyatakan oleh angka setana (*cetane number*). Semakin tinggi angka setana semakin mudah bahan bakar menyala, sehingga waktu tunda (*delay period*) dari bahan bakar tersebut semakin kecil.

### **2.3.9 Titik tuang (*pour point*)**

Adalah suhu tertentu dimana bahan bakar masih dapat dialirkan. Semakin tinggi titik tuang maka semakin sulit bahan bakar tersebut dialirkan. Sifat ini penting pada daerah yang bersuhu rendah.

### **2.3.10 Kemudahan menguap (*volatility*)**

Kemudahan untuk menguap adalah ukuran secara tidak langsung dari titik nyala. Kemudahan bahan bakar untuk menguap sangat penting pada saat mesin dinyalakan pada kondisi dingin (*cold start*), kondisi panas (*hot start*), terhambatnya saluran bahan bakar karena uap bahan bakar (*vapour lock*), kehilangan bahan bakar akibat penguapan di tangki bahan bakar (*evaporation loss*).

### **2.3.11 Kandungan belerang (*sulfur content*)**

Kandungan belerang pada bahan bakar merupakan hal yang merugikan karena dapat mempercepat keausan cincin torak dan silinder. Sulfur dapat bereaksi dengan oksigen dari udara dan hydrogen dari bahan bakar sehingga membentuk senyawa asam yang bersifat korosif.

### 2.3.12 Kandungan air (*water content*)

Air yang terkandung pada bahan bakar dapat menyebabkan oksidasi pada tangki bahan bakar. Oksidasi ini juga dapat terjadi pada plunyer dan injector.

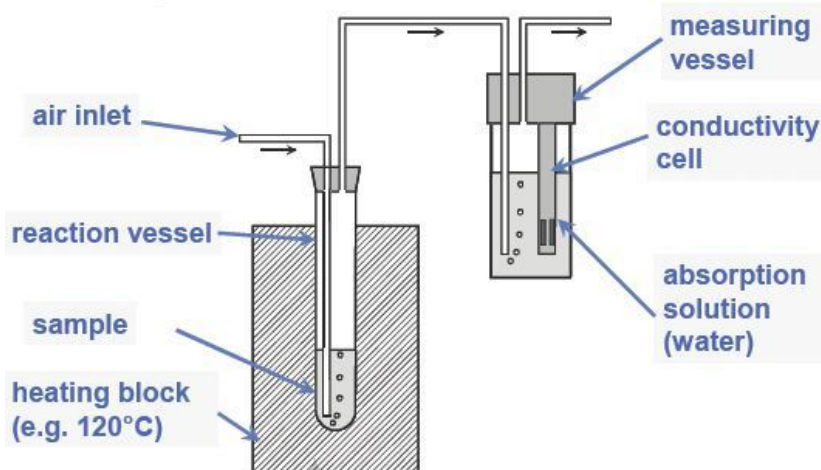
## 2.4 Metode Rancimat

Pada tingkatan awal kerusakan minyak dan lemak dapat dideteksi dengan membedakan bau dan rasa (*rancidity*/ketengikan), yang dihasilkan dari perubahan kimia yang disebabkan oleh oksigen di atmosfer. Proses oksidasi ini berjalan dengan lambat pada suhu ambient yang dikenal dengan *autoxidation*. Dimulai dengan reaksi radikal pada asam lemak takjenuh dan dalam proses multi-stage, menghasilkan produk-produk dekomposisi yang bervariasi, peroksidasi, alkohol, aldehid dan asam-asam carboxylic tertentu.

Dalam Metode Rancimat sample dibiarkan dialiri udara pada suhu antara 50...220°C. Produk-produk oksidasi *volatile* (terutama asam formik) ditransfer oleh aliran udara ke tabung pengukuran (*measuring vessel*) dan terserap disana dalam larutan pengukuran (air distilasi). Bersamaan dengan terekamnya konduktifitas dari larutan pengukuran secara terus-menerus, diperoleh kurva oksidasi yang mana *point of inflection* atau titik pembengkokannya dikenal dengan *induction time* / waktu induksi.

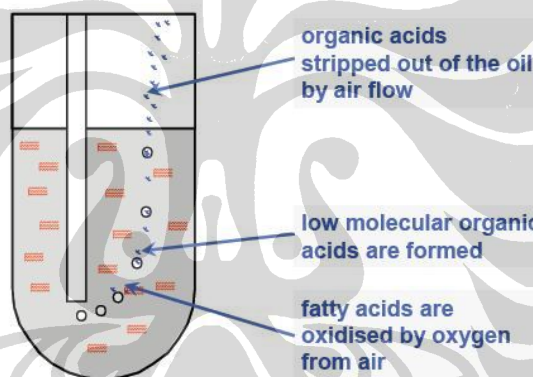
Metode Rancimat dikembangkan sebagai versi otomatis dari metode oksigen aktif (*active oxygen method/AOM*) yang sangat menyita waktu dan rumit dalam mendeterminasi waktu induksi lemak dan minyak. Metode ini telah diakui secara internasional AOCS Cd 12b-92 dan ISO 6886.

Prinsip kerja Metode Rancimat dapat dilihat seperti di bawah ini :



Gambar 2.4 Skema Pengaturan Pengukuran

Sedangkan reaksi dan proses yang terjadi pada tabung reaksi seperti :



Gambar 2.5 Proses pada Tabung Reaksi

#### 2.4.1 Penjelasan Instrumen

743 Rancimat adalah perangkat ukur dalam menentukan stabilitas oksidasi *sample* minyak dan lemak dengan dukungan perangkat *Personal Computer (PC)*. Alat ini dilengkapi dengan dua blok pemanas/*heating block* yang masing-masing blok terdapat 4 posisi pengukur (*channel*). Setiap blok dapat dipanaskan tersendiri, sehingga sebagai contoh 4 *sample* dapat masing-masing diukur pada 2 suhu yang berbeda atau 8 *sample* pada suhu yang sama. Pada masing-masing *channel* dimulai (*start*) pengukuran secara tersendiri. Perngoperasian 743 Rancimat dapat dilakukan secara langsung dan lengkap melalui PC dengan *interface RS232* dengan menggunakan program control dan evaluasi 743 Rancimat. 1 sampai

dengan 4 instrumen dapat dihubungkan pada satu komputer, sehingga memungkinkan maksimum 32 sample dianalisis dalam satu waktu. Algoritma evaluasi komputer mendeterminasi *break point* dari kurva Rancimat secara otomatis sepenuhnya dan begitu pula dalam mendeterminasi *induction time/waktu induksi*. Disamping waktu induksi dapat pula dideterminasi *stability time/waktu stabilitas* yakni durasi waktu sampai tercapainya perubahan konduktifitas yang terdefinisi. Dalam kasus perubahan (*stage*) konduktifitas yang mana tidak ada hubungannya dengan *autoxidation*, evaluasinya dapat dihentikan pada interval waktu tertentu.

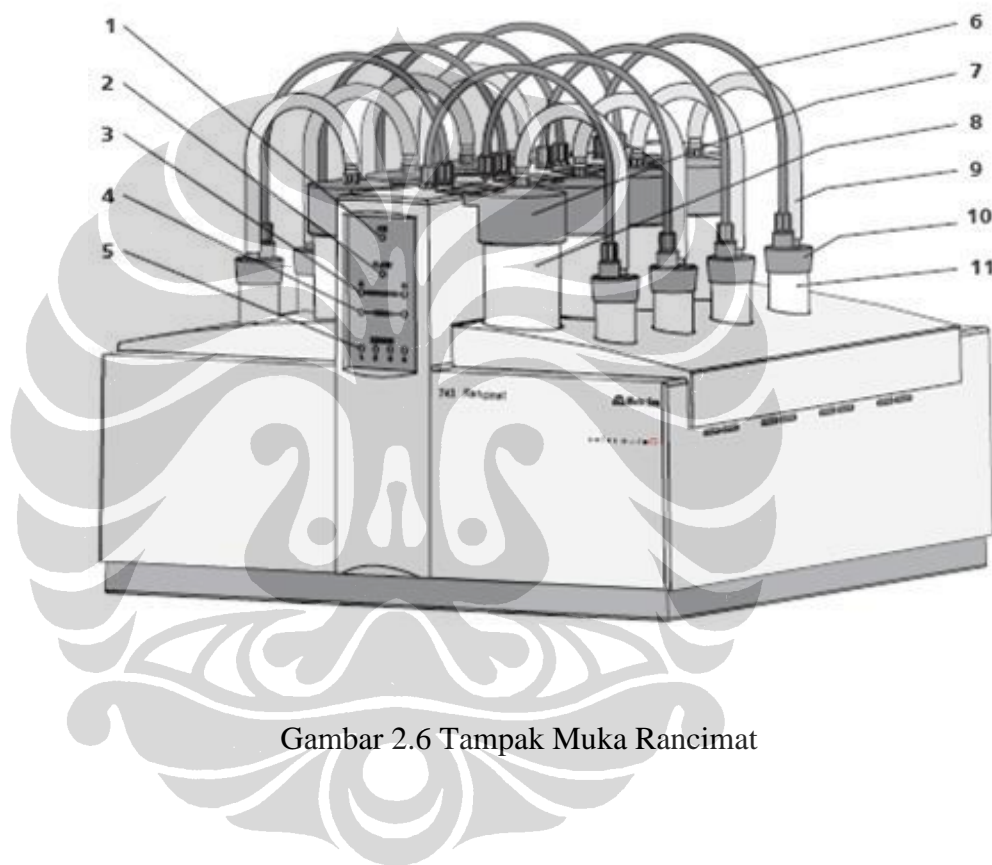
Hasil dari determinasi dapat diproses lebih lanjut dengan komputer. Secara khusus waktu induksi dapat dikonversi ke suhu tertentu sesuai standar yang diinginkan. Masing-masing kurva Rancimat juga dapat dievaluasi secara manual. Metode tangensial dengan komputer tersedia sehingga dapat memposisikan tangents dimanapun saja pada kurva. Hal ini memungkinkan evaluasi kasus-kasus ekstrim. Hasil determinasi dapat disimpan dalam database dimana metode-metode dan data determinasi disimpan. Kemudahan pencarian (*search*), sortir (*sort*), menyaring (*filtered*), mengirim (*exported*), dan mencetak (*printed*), pada determinasi tersedia pada program *section* untuk tampilan (*display*) hasil. Disamping display grafik kurva *single* dan kurva *multiple* juga dimungkinkan perhitungan ulang (*recalculation*) dengan parameter-parameter berbeda dan ekstrapolasi hasil pada suhu tertentu.

GLP (*Good Laboratory Practice*) dan *instrument validation* menjadi sangat penting. 743 Rancimat memungkinkan GLP tests untuk suhu, konduktifitas dan pengukuran aliran dast. Dapat ditentukan uji apa saja yang diperlukan, dapat pula menentukan interval waktu antara uji satu dengan yang lain, begitu pula persyaratan mengenai keakuratan. Jika fungsi GLP telah dipilih setiap laporan hasil akan menerima pernyataan *comment* bilamana GLP tests telah dipenuhi. Metrohm menawarkan GLP Test Set (6.5616.000), dengan yang manauji yang terpenting dapat dilakukan.

#### **2.4.2 Bagian-Bagian Rancimat**

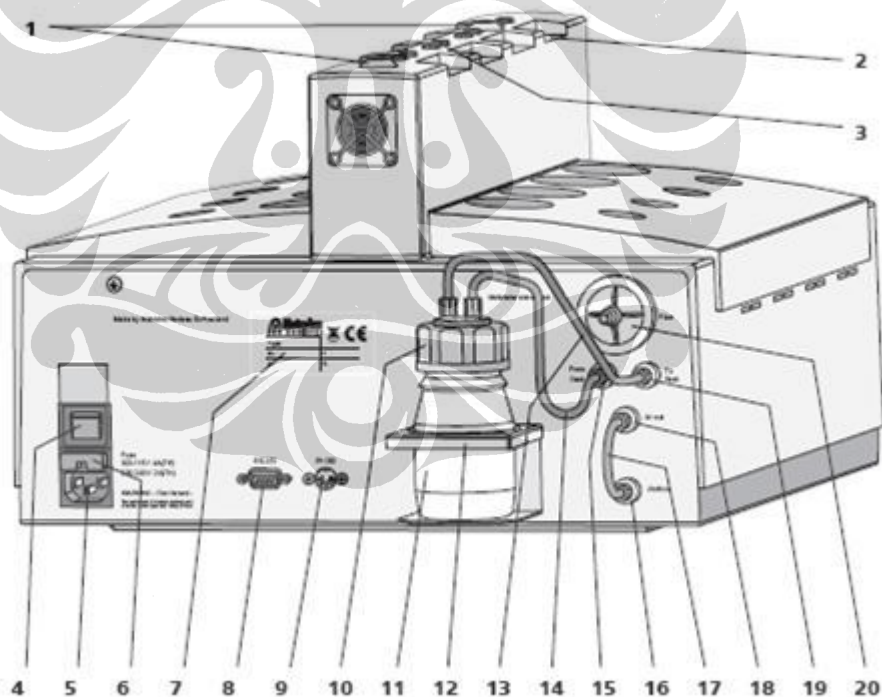
743 Rancimat memiliki dua blok pemanas (*heating block*) independen yang memungkinkan satu sampai 8 sample dianalisis pada satu atau dua temperatur.

Satu sampai empat Rancimat dapat dihubungkan ke satu *Personal Computer* (PC), sehingga jumlah jumlah maksimum *sample*. Setiap *channel* (posisi pengukuran) dapat dioperasikan tersendiri, seketika satu *sample* selesai dalam penentuan *induction time*, *channel* tersebut siap dengan *sample* baru tanpa harus menunggu selesainya proses determinasi *channel* yang lain. Bagian-bagian Rancimat dapat dilihat pada gambar di bawah beserta keterangan bagiannya :



Gambar 2.6 Tampak Muka Rancimat

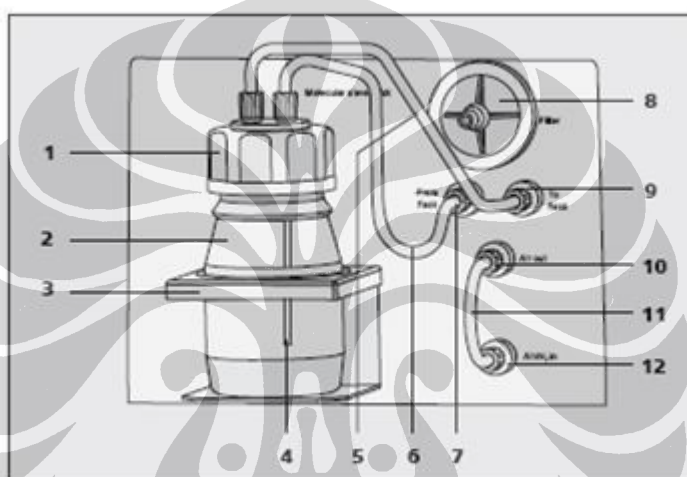
<b>1 Pilot lamp</b> Lights up when the instrument is switched on.	<b>2 Gas flow display</b> Flashes when the gas flow is switched on. Lights up when the gas flow has been reached.
<b>3 Temperature display</b> Flashes when the heating is switched on. Lights up when the temperature has been reached.	<b>4 Error display (red)</b> Lights up or flashes when a fault has occurred in the instrument (see <i>Troubleshooting Chapter</i> ).
<b>5 Instrument number display</b> Indicates the number of the instrument. Lights up if the instrument is registered. Flashes (all LEDs) if the connection to the PC is interrupted.	<b>6 FEP tubing 250 mm (6.1805.080)</b> For supplying air into the reaction vessel.
<b>7 Measuring vessel cover (6.0913.130)</b> Contains an integrated conductivity measuring cell.	<b>8 Measuring vessel (6.1428.100)</b>
<b>9 Silicone tubing (6.1816.010)</b> For connecting the reaction vessel to the measuring vessel.	<b>10 Reaction vessel cover (6.2753.100)</b>
<b>11 Reaction vessel (6.1429.040)</b>	



Gamabr 2.7 Tampak Belakang Rancimat

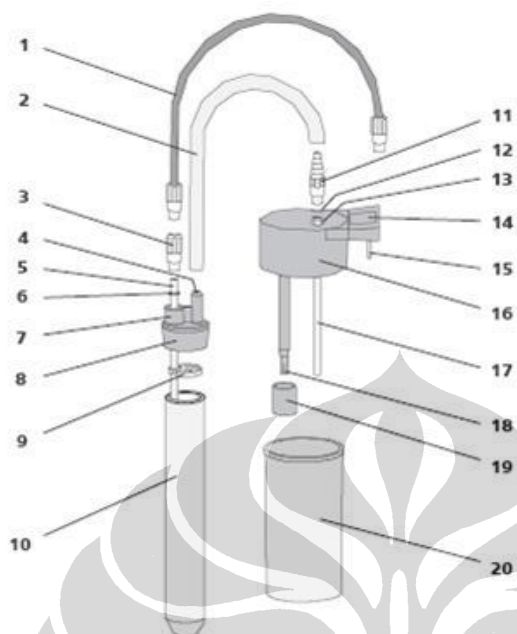


<b>13</b> FEP tubing 250 mm (6.1805.080) For supplying the air from the internal pump to the drying flask.	<b>14</b> FEP tubing 250 mm (6.1805.080) For supplying the air from the drying flask to the reaction vessel (2- <b>11</b> ).
<b>15</b> "From Flask" connection	<b>16</b> "Air/N <sub>2</sub> in" connection
<b>17</b> FEP tubing 130 mm (6.1805.010) For connecting the Air out connection to the Air/N <sub>2</sub> in connection during normal operation with the internal air pump.	<b>18</b> "Air out" connection
<b>19</b> "To Flask" connection	<b>20</b> Dust filter (6.2724.010)



Gambar 2.8 Asesoris untuk Suplai Udara (Panel Belakang Instrumen)

<b>1</b> Drying flask cover (6.1602.145) Cover for the drying flask.	<b>2</b> Drying flask (6.1608.050)
<b>3</b> Flask holder For fastening the drying flask.	<b>4</b> Filtering tube (6.1821.040)
<b>5</b> FEP tubing 250 mm (6.1805.080) For supplying the air from the internal pump to the drying flask.	<b>6</b> FEP tubing 250 mm (6.1805.080) For supplying the air from the drying flask to the reaction vessel (2- <b>11</b> ).
<b>7</b> "From Flask" connection	<b>8</b> Dust filter (6.2724.010)
<b>9</b> "To Flask" connection	<b>10</b> "Air out" connection
<b>11</b> FEP tubing 130 mm (6.1805.010)	<b>12</b> "Air/N <sub>2</sub> in" connection

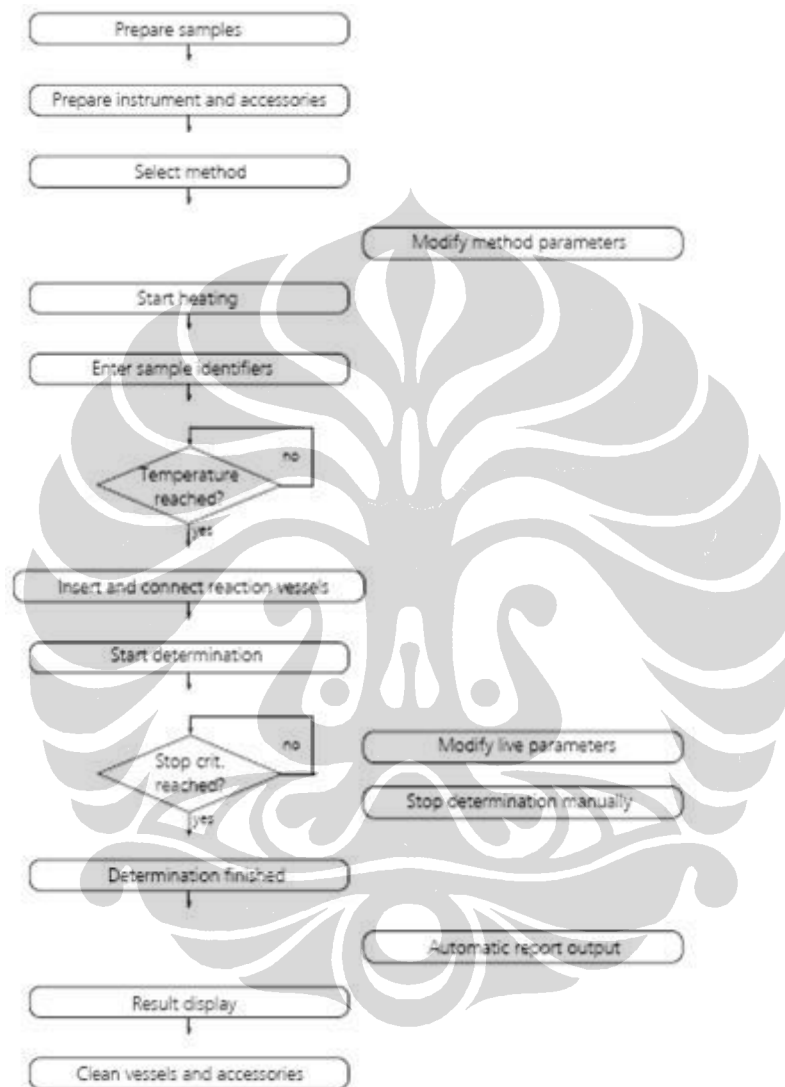


Gambar 2.9 *Fitting* Tabung Reaksi dan Tabung Ukur

<b>1</b> FEP tubing 250 mm (6.1805.080) For supplying air into the reaction vessel.	<b>2</b> Silicone tubing (6.1816.010) For connecting the reaction vessel to the measuring vessel.
<b>3</b> Tubing adapter M8 / M6 (6.1808.090)	<b>4</b> Tubing connection For connecting the silicone tubing.
<b>5</b> Air tube (6.2418.100)	<b>6</b> O-ring (6.1454.040)
<b>7</b> Connection For connecting the tubing adapter M8 / M6.	<b>8</b> Reaction vessel cover (6.2753.100)
<b>9</b> Foam barrier (6.1451.010)	<b>10</b> Reaction vessel (6.1429.040)
<b>11</b> Tubing adapter M8 / olive (6.1808.050) For connecting the silicone tubing to the opening In (5-13).	<b>12</b> Opening "Out" For removing the air from the measuring vessel.
<b>13</b> Opening "In" For supplying the air to the measuring vessel.	<b>14</b> Labeling field For entering the cell constant.
<b>15</b> Connector plug	<b>16</b> Measuring vessel cover (6.0913.130) Contains integrated conductivity measuring cell.
<b>17</b> PTFE cannula (6.1819.080) For supplying the air to the measuring solution.	<b>18</b> Electrode
<b>19</b> Protection ring	<b>20</b> Measuring vessel (6.1428.100)

### 2.4.3 Pengoperasian Rancimat

Dalam melakukan determinasi stabilitas oksidasi kita menggunakan urutan kerja sesuai *flow chart* sebagai berikut :



Gambar 2.10 *Flow Chart* Pengoperasian Rancimat

## 2.5 Mesin Diesel

### 2.5.1 Jenis Injeksi Mesin Diesel

a. Injeksi Langsung (*Direct Injection-DI*)

Sistem injeksi ini menghasilkan efisiensi thermal yang lebih besar, dahulu biasa diadopsi oleh mesin-mesin dengan putaran rendah, namun kini mulai digunakan pada mesin-mesin putaran tinggi. Mesin ini mempunyai karakter menginjeksikan bahan bakar langsung ke ruang bakar.

b. Injeksi Tak langsung (*Indrect Injection-IDI*)

Sistem ini digunakan pada mesin putaran tinggi dengan sekitar 50% volume pada saat titik mati atas (TMA) ada pada ruang persiapan (*pre-chamber*) yang terhubung dengan ruang utama (*main chamber*) di atas piston. Udara didorong ke ruang di dalamnya dengan kecepatan tinggi untuk kemudian ke dalamnya diinjeksikan bahan bakar. Ciri khas mesin ini terletak pada adanya *glow plug* yang berfungsi membantu penyalaan mula.

### 2.5.2 Parameter Kinerja Mesin Diesel

Beberapa parameter kinerja mesin Diesel adalah :

1. Torsi dan Daya Rem (*Brake Horse Power*)
2. Konsumsi Bahan Bakar (*Fuel Consumption/FC*) dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)
3. Efisiensi Thermal.

#### 2.5.2.1 Torsi dan Daya Rem (*Brake Horse Power*)

Torsi adalah gaya yang bekerja pada jarak tertentu, dalam satuan kgf.m. Pengukuran torsi menggunakan dynamometer dimana beban yang terukur pada dynamometer diperoleh dalam satuan kgf.\

Torsi diformulasikan :  $T = W.L$  (kgf.m) (2.1)

Dengan  $T$  = Torsi mesin (kgf.m)

$L$  = Panjang lengan dynamometer (m)

$W$  = Beban pada dynamometer (kgf)

Daya Rem (*Brake Horse Power – BHP*) adalah daya yang dihasilkan oleh mesin Diesel yang terukur, daya yang masih murni di dalam mesin disebut Daya Terindikasi (*Indicated Horse Power/IHP*), yang segera akan terkena yakni Daya Friksi (*Friction Horse Power/FHP*), sehingga BHP dapat diformulasikan :

$$BHP = IHP - FHP \quad (2.2)$$

$$BHP = \frac{2\pi \cdot N}{60} \cdot \frac{T}{75} (HP) \quad (2.3)$$

Dengan T = BHP : Daya Rem (*Brake Horse Power – BHP*)

IHP = Daya Terindikasi (*Indicated Horse Power/IHP*)

FHP = Daya Frksi (*Friction Horse Power/FHP*)

N = Kecepatan putaran poros (rpm)

T = Torsi (kgf.m)

### 2.5.2.2 Konsumsi Bahan Bakar dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi Bahan Bakar (*Fuel Consumption – FC*)

Definisi : Jumlah bahan bakar yang diperlukan per satuan waktu, satuan L/h

$$\text{Formulasi : } FC = \frac{V_f}{t} \cdot \frac{3600}{1000} (L/hr) \quad (2.4)$$

Dengan : FC = Konsumsi bahan bakar per satuan waktu (L/hr)

V<sub>f</sub> = Volume bahan bakar yang dikonsumsi dalam t detik (cm<sup>3</sup>)

t = Lama waktu konsumsi bahan bakar (sec)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption – SFC*)

Definisi : Laju aliran bahan bakar terhadap daya rem keluaran untuk menghasilkan daya tersebut.

$$\text{Formulasi : } SFC = \frac{FC}{BHP} (L/HP.hr) \quad (2.5)$$

Dengan : SFC = Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (L/HP.hr)

FC = Konsumsi bahan bakar per satuan waktu (L/hr)

BHP = Daya rem / *Brake horse power* (HP)

### 2.5.2.3 Efisiensi Thermal

Efisiensi Thermal

Definisi : Daya yang dilakukan mesin per unit massa bahan bakar yang digunakan, dikali nilai kalor bahan bakar tersebut.

$$\text{Formulasi : } \eta_{th} = \frac{BHP}{LHV \cdot FC \cdot \rho_f} \times 632 \times 100 \text{ .( \% )} \quad (2.6)$$

Dengan :  $\eta_{th}$  = Efisiensi Thermal (%)

LHV = Nilai kalor bahan bakar (kcal/kg)

BHP = Daya rem / *Brake horse power* (HP)

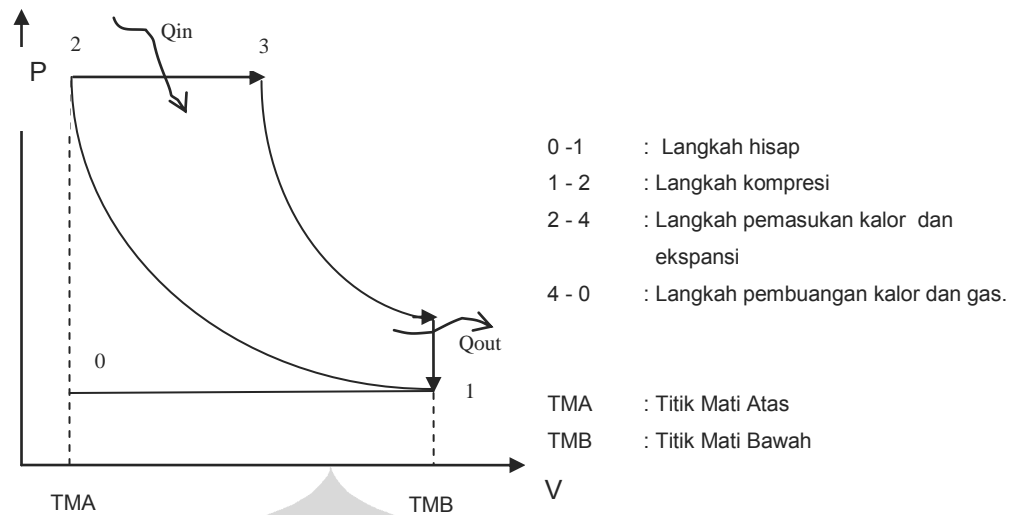
FC = Konsumsi bahan bakar per satuan waktu (L/hr)

$\rho_f$  = Massa jenis bahan bakar (kg/L)

### 2.5.3 Pembakaran Pada Mesin Diesel

Mesin Diesel menggunakan penyalaan dengan tekanan atau lebih umum disebut Compression Ignition Engine. Proses termodinamika dan kimia yang sebenarnya terjadi dalam motor bakar internal sangat sulit untuk dianalisis, pada umumnya digunakan pemodelan siklus ideal yang menggunakan siklus udara sebagai gas ideal. Pada kondisi ini digunakan Beberapa asumsi, yaitu: campuran udara bahan bakar adalah gas ideal dengan nilai panas jenis konstan, proses kompresi dan ekspansi adalah adiabatic reversibel (isentropik), pembakaran yang terjadi adalah ideal (sempurna), tidak ada perpindahan panas baik dari sistem ke lingkungan maupun sebaliknya, tidak ada rugi-rugi aliran.

Mesin diesel bekerja berdasarkan siklus tekanan konstan (siklus Diesel). Siklus diesel ideal digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 2. Siklus Mesin Diesel Ideal <sup>[4]</sup>

Asumsi yang dipergunakan serta keterangan mengenai proses siklusnya adalah sebagai berikut :

- Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik konstan.
- Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
- Langkah kompresi (1-2) adalah proses isentropik.
- Proses pembakaran (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada tekanan konstan.
- Langkah kerja (3-4) adalah isentropik.
- Proses pembuangan (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
- Langkah buang (1-0) adalah proses tekanan konstan.

Pada kenyatannya tidak ada siklus yang merupakan siklus tekanan konstan. Beberapa factor yang menyebabkan siklus tidak sama dengan siklus ideal adalah :

- Adanya kebocoran fluida kerja karena penyekatan cincin torak dan katup yang tidak sempurna.
- Katup tidak tepat terbuka pada titik mati atas (TMA) dan titik mati bawah (TMB) karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida kerja.

- c. Fluida kerja sebenarnya bukanlah fluida yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan nilai kalor jenis yang konstan selama proses berlangsung.
- d. Pada keadaan sebenarnya, saat torak berada di TMA tidak terjadi pemasukan kalor seperti yang digambarkan pada siklus ideal. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja terjadi akibat adanya proses pembakaran anrta udara dan bahan bakar.
- e. Proses pembakaran tidak terjadi sekejap, melainkan memerlukan waktu untuk melalui tahap pembakaran. Akibat proses pembakaran terjadi pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Dengan demikian proses pembakaran harus dimulai beberapa derajat sudut engkol sebelum mencapai TMA dan berakhir pada beberapa derajat sudut engkol setelah torak melewati TMA menuju TMB. Jadi pembakaran tidak dapat terjadi pada volume maupun tekanan konstan. Disamping itu, pada kenyataannya tidak pernah terjadi pembakaran sempurna, oleh karena itu daya dan efisiensinya sangat tergantung pada perbandingan bahan bakar udara, kesempurnaan campuran bahan bakar udara dan juga pada penyalaan.
- f. Pada keadaan sebenarnya terjadi perpindahan panas dari fluida kerja ke dinding silinder, torak dan juga ke fluida pendingin. Perpindahan panas tersebut terjadi akibat adanya perbedaan temperatur yang cukup besar antara fluida kerja dan sekelilingnya, termasuk fluida pendingin.
- g. Terdapat kerugian energi panas yang dibawa oleh gas buang dari dalam silinder ke atmosfer sekitarnya. Sehingga energi tersebut tidak dapat digunakan untuk melakukan kerja mekanik.
- h. Terdapat kerugian tekanan akibat adanya gesekan antara fluida kerja dengan dinding salurannya, baik pada saluran masuk maupun keluar.
- i. Terdapat kerugian pompa (pumping losses) yang disebabkan oleh adanya komponen-komponen yang menghambat aliran fluida kerja masuk dan keluar mesin, seperti saringan udara, katup gas dan peredam suara (silencer) pada saluran buang.