

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

2.1.1 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel yang sering disebut solar (*light oil*) merupakan suatu campuran hidrokarbon yang diperoleh dari penyulingan minyak mentah pada temperatur 200°C – 340°C. Minyak solar ini biasa disebut juga Gas Oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel.

Minyak solar ini digunakan untuk bahan bakar mesin “*Compression Ignition*” (udara yang dikompresi menimbulkan tekanan dan panas yang tinggi sehingga membakar solar yang disemprotkan oleh injektor). Indonesia menetapkan solar dalam peraturan Ditjen Migas No. 3675K/24/DJM/2006. Minyak solar yang sering digunakan adalah hidrokarbon rantai lurus *hetadecene* (C₁₆H₃₄) dan *alpha-methyl naphthalene*.

2.1.2 Karakteristik Bahan Bakar Diesel (Solar)

Dapat menyala dan terbakar sesuai dengan kondisi ruang bakar adalah syarat umum yang harus dipenuhi oleh suatu bahan bakar. Minyak solar sebagai bahan bakar memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh sifat-sifat seperti *Cetane Number* (CN), *Cetane Index* (CI), nilai panas, densitas, titik anilin dan kandungan sulfur.

a. *Cetane Number* (CN)

Mutu penyalaan yang diukur dengan indeks yang disebut *Cetane*. Mesin diesel memerlukan bilangan cetane sekitar 50. Angka CN yang tinggi menunjukkan bahwa minyak solar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah dan sebaliknya angka CN yang rendah menunjukkan minyak solar baru menyala pada temperatur yang relatif tinggi.

b. *Cetane Index* (CI)

Cetane Index merupakan perkiraan matematis dari CN dengan basis suhu destilasi, densitas, titik anilin dan lain-lain. Apabila terdapat aditif yang bersifat meningkatkan CN maka perhitungan CI tidak dapat langsung digunakan tetapi variabel-variabel seperti API *gravity* dan suhu destilasi harus disesuaikan karena karakteristik bahan bakar akan berubah.

c. Nilai Panas

Nilai panas bahan bakar dapat diukur dengan menggunakan Bomb kalorimeter dan hasilnya dimasukkan kedalam rumus perhitungan :

$$\text{Nilai panas} = \frac{8100C + 3400(H-0/8)}{100} \text{ kkal/kg}$$

Nilai H,C, dan O dinyatakan dalam persentasi berat dalam setiap unsur yang terkandung dalam satu kilogram bahan bakar. Hasil perhitungan tersebut merupakan suatu nilai panas kotor (*gross heating value*) suatu bahan bakar dimana termasuk didalamnya panas *laten* dari uap air yang terbentuk pada pembakaran hidrogen dari bahan bakar. Selisih nilai panas kotor dan bersih umumnya berkisar antara 600-700 kkal/kg tergantung besar persentase hidrogen yang ikut terbakar.

Secara kasar nilai panas suatu bahan bakar dapat diperkirakan dari berat jenis yang bersangkutan :

-		Berat	Jenis
	pada 15 ⁰ C	: 0,85; 0,87; 0,89; 0,91; 0,93	
-		Nilai	panas
	kotor (kkal/kg)	: 10900; 10800; 10700; 10600; 10500.	

Menurut spesifikasi minyak solar di indonesia mempunyai berat jenis antara 0,820 – 0.870 pada temperatur 60⁰F, dengan demikian dapat diperkirakan mempunyai nilai panas kotor minimal 10800 kkal/kg karena semakin rendah berat jenisnya semakin tinggi nilai panas kotornya dan berdasarkan pengukuran laboratorium minyak solar berat jenisnya 0,8521 dengan panas kotor 10917 kkal/kg.

d. Densitas

Berat jenis adalah perbandingan antara berat persatuan volume minyak solar. Berat jenis suatu minyak solar mempunyai satuan kilogram per meter kubik (kg/m³). Karakteristik ini sangat berhubungan erat dengan nilai panas kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel persatuan bahan bakar yang digunakan. Densitas yang disarankan untuk minyak solar berdasarkan *Masdent Point Refinery* untuk tahun 2000 yaitu 826 – 859 kg/m³.

e. Titik Aniline

Titik yang menunjukkan suhu terendah saat dimana dalam volume yang sama destilasi anilin dan bahan bakar bersangkutan bercampur dengan sempurna. Titik anilin yang rendah menunjukkan bahwa minyak solar tersebut mempunyai angka cetana yang rendah.

f. Kandungan Sulfur atau Belerang

Belerang dalam bahan bakar terbakar bersama minyak dan menghasilkan gas yang sangat korosif yang diembunkan oleh dinding-dinding silinder, terutama ketika mesin beroperasi dengan beban ringan dan suhu silinder menurun, kandungan belerang dalam bahan bakar tidak boleh melebihi 0,5 %-1,5 %.

Minyak solar yang dihasilkan harus memiliki standar dan mutu (spesifikasi) yang memenuhi persyaratan yang bisa dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Kategori Minyak Solar

SIFAT	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
<i>Cetana Number</i>	48	53	55
<i>Cetana Index</i>	45	50	52
<i>Densitas @15⁰C,kg/m³</i>	820 – 860	820 – 850	820 – 840
<i>Viscositas @40⁰C,mm²/s</i>	2 – 4.5	2 – 4.0	2 – 4.0
<i>Kandungan Sulfur, %wt</i>	0.5	0.03	Bebas
<i>Destilasi : T95, ⁰C max</i>	370	355	340

Sumber : Gaikindo, 2012

Minyak solar Indonesia belum masuk kategori 1 karena CN minyak solar Indonesia 45 (lihat Tabel 2.1), walaupun hal ini memenuhi baku mutu dari pemerintah sesuai keputusan ditjend Migas No. 002/P/DM/MIGAS/1979. Karakteristik minyak solar Indonesia menurut keputusan diatas dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik Minyak Solar Indonesia

	Unit	Min.	Max.	ASTM method
<i>Spesifik grafit at 60/60⁰F</i>		0.815	0.87	D 1298
<i>Cetana Number</i>		45	-	D 613
<i>Calculated Cetana Index</i>		48	-	D 976
<i>Viscosity kinematik at 40⁰C</i>	CSt	1.6	5.8	D 445
<i>Pour point</i>	⁰ F	-	65	D 97
<i>Conradson carbon residue</i>	%wt	-	0.1	D 189
<i>Color ASTM</i>		-	3	D 1500
<i>Flash point</i>	⁰ F	140	-	D 93
<i>Sulfur content</i>	% wt	-	0.5	D 1551
<i>Water content</i>	% vol	-	0.05	D 95

<i>Sediment</i>	% wt	-	0.01	D 473
<i>Ash content</i>	% wt	-	0.01	D 482
<i>Total acid number</i>	MgKOH	-	0.6	D 974
<i>Destillation : recovery at 300^oC</i>	% vol	40	-	D 86

Sumber : DITJEN MIGAS No. 113 K 172/DJM/1999, Tanggal 27 Oktober 2011.

2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel adalah salah satu tipe dari mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Karakteristik utama dari mesin diesel yang membedakan dari motor bakar yang lain terletak pada metode penyalaan bahan bakarnya. Dalam mesin diesel bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder yang berisi udara bertekanan tinggi. Selama proses pengkompresian udara dalam silinder mesin, suhu udara meningkat, ketika bahan bakar yang berbentuk kabut halus bersinggungan dengan udara panas ini maka bahan bakar akan menyala dengan sendirinya tanpa bantuan alat penyala lainnya. Itu sebabnya mesin diesel juga disebut mesin penyalaan kompresi (*Compression Ignition Engines*).

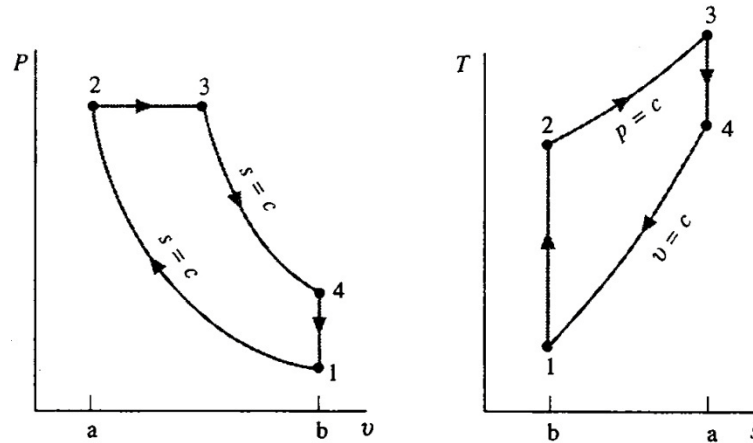
Motor diesel memiliki perbandingan kompresi sekitar 15:1 hingga 26:1, jauh lebih tinggi dibandingkan motor bakar bensin yang hanya berkisar 6:1 sampai 9:1. Konsumsi bahan bakar spesifik mesin diesel lebih rendah (kira-kira 25%) dibanding mesin bensin.

Mesin diesel menghasilkan tekanan kerja yang tinggi, itu sebabnya konstruksi motor diesel lebih kokoh dan lebih besar. Disamping itu, mesin diesel menghasilkan bunyi yang lebih keras, warna dan bau gas yang kurang menyenangkan. Namun dipandang dari segi ekonomi, bahan bakar, motor diesel masih lebih disukai (Mathur, 1980).

2.2.1 Siklus Diesel Ideal

Siklus diesel adalah siklus ideal untuk mesin torak pengapian-kompresi yang pertama kali dinyatakan oleh Rudolph Diesel tahun 1890. Prinsip kerjanya sama halnya dengan mesin torak pengapian-nyala, yang dinyatakan oleh Nikolaus A. Otto tahun 1876, hanya perbedaan utamanya dalam hal metode pembakarannya. Pada mesin torak pengapian-nyala (mesin bensin) campuran udara-bahan bakar dikompresi ke temperatur dibawah temperatur pembakaran-sendiri (*auto ignition*) dari bahan bakarnya, kemudian proses pembakarannya oleh percikan bunga api dari busi. Sedangkan pada mesin torak pengapian kompresi (mesin diesel), udara dikompresi ke temperatur di atas temperatur *auto ignition* dari bahan bakarnya,

kemudian pembakaran dimulai saat bahan bakar yang diinjeksikan kontak dengan udara panas tersebut. Maka pada mesin diesel, busi dan karburator digantikan oleh penginjeksi bahan bakar (*fuel injector*).



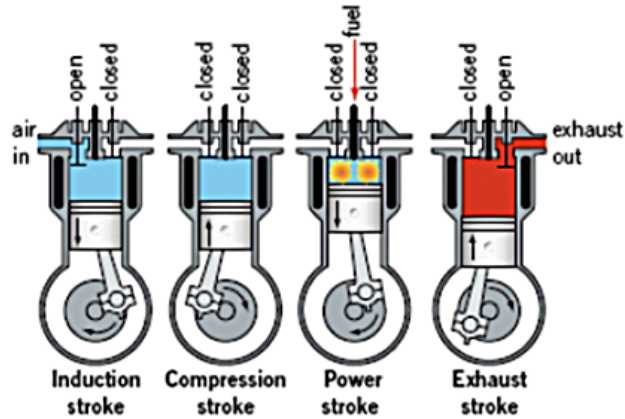
Gambar 2.1 Diagram P-v dan Diagram T-s Siklus Ideal Diesel

(Buku Termodinamika Teknik Jilid 2)

Siklus diesel (ideal) pembakaran tersebut dimisalkan dengan pemasukan panas pada volume konstan (Y. A. Çengel and M. A. Boles, 2006). Siklusnya seperti pada diagram P-v dan T-s di atas (Gambar 2.1). Siklus tersebut terdiri dari empat buah proses berantai yang reversible secara internal. Proses 1-2 isentropik, 2-3 penambahan kalor. Pada siklus Otto kalor dipindahkan ke fluida kerja pada **volume konstan**, sedangkan pada siklus diesel, kalor dipindahkan pada **tekanan konstan**. Proses 3-4 ekspansi isentropic, dan proses 4-1 pelepasan kalor pada volume konstan, di mana kalor keluar dari udara ketika piston berada pada titik mati bawah.

2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel

Adapun siklus yang terjadi pada motor diesel 4 langkah terdiri atas langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha, langkah buang.



Gambar 2.2 Prinsip kerja mesin diesel

(<https://qtussama.wordpress.com/materi-ajar-x-tkr/motor-bakar>)

a. Langkah Hisap

Yang terjadi adalah :

- Piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah).
- Katup masuk terbuka dan katup buang tertutup.
- Karena piston bergerak ke bawah maka di dalam silinder terjadi kevakuman sehingga udara bersih akan terhisap dan mengalir masuk ke dalam ruang silinder melalui katup masuk. Dapat dilihat pada Gambar 2.3.



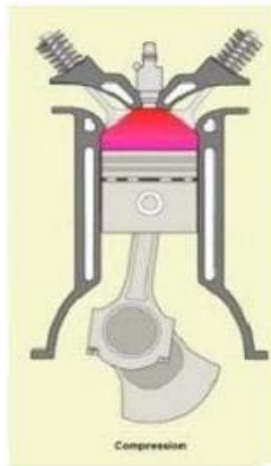
Gambar 2.3 Langkah Hisap

(<http://ki-tapunya.blogspot.com/2013/12/prinsip-cara-kerja-mesin-diesel-4-langkah.html>)

b. Langkah Kompresi

Prosesnya yaitu :

- Piston akan bergerak dari TMB ke TMA.
- Kedua katup (katup masuk dan buang) tertutup.
- Karena piston bergerak ke atas dan kedua katup tertutup maka udara bersih di dalam silinder akan terdorong dan dimampatkan di ruang bakar, akibatnya tertekan dan temperatur udara menjadi tinggi (Gambar 2.4).

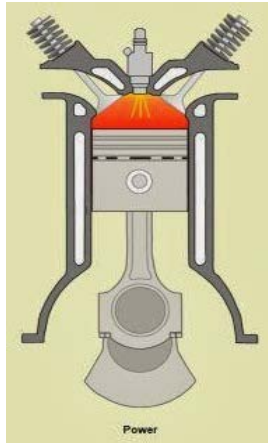


Gambar 2.4 Langkah Kompresi

(<http://ki-tapunya.blogspot.com/2013/12/prinsip-cara-kerja-mesin-diesel-4-langkah.html>)

c. Langkah Usaha

Pada akhir langkah kompresi, injector nozzle menyemprotkan bahan bakar dengan tekanan tinggi dalam bentuk kabut ke dalam ruang bakar dan bercampur dengan udara betemperatur tinggi yang dihasilkan pada langkah kompresi tadi. Karena tekanan dan temperatur yang tinggi maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya di dalam ruang bakar. Tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran diteruskan ke piston. Piston terdorong dari TMA ke TMB dan tenaga pembakaran dirubah menjadi tenaga mekanik. Pada saat ini kedua katup dalam posisi tertutup (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Langkah Usaha

(<http://ki-tapunya.blogspot.com/2013/12/prinsip-cara-kerja-mesin-diesel-4-langkah.html>)

d. Langkah Buang

Prosesnya yaitu :

- Piston bergerak dari TMB ke TMA
- Katup buang membuka dan katup masuk tertutup, karena piston bergerak ke atas maka sisa hasil pembakaran akan terdorong ke luar melalui katup buang (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Langkah Buang

(<http://ki-tapunya.blogspot.com/2013/12/prinsip-cara-kerja-mesin-diesel-4-langkah.html>)

2.2.3 Proses Pembakaran dan Bahan Bakar

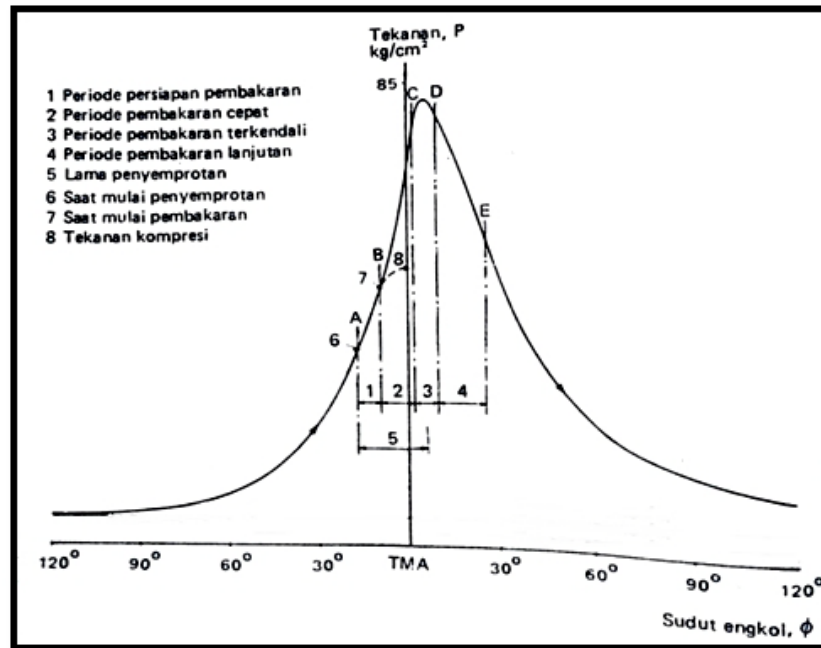
Definisi pembakaran adalah suatu reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan suatu oksidan (oksigen) disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Proses pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi :

- a. *Complete combustion*, terjadi apabila semua unsur C, H, dan S yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi membentuk CO_2 , H_2O , dan SO_2 . Pembakaran ini umumnya dapat dicapai pada kondisi pembakaran dengan udara lebih.
- b. *Perfect combustion*, terjadi apabila jumlah bahan bakar dan oksidatornya sesuai dengan reaksi stokiometris. Campuran dikatakan stokiometris jika jumlah oksigen dalam campuran tepat untuk bereaksi dengan unsur C, H, dan S membentuk CO_2 , H_2O , dan SO_2 .
- c. *Incomplete combustion*, terjadi proses pembakaran bahan bakar menghasilkan produk antara seperti CO, H_2 , dan aldehid disamping CO_2 , H_2O , dan N_2 (jika oksidatornya dalam udara). Pembakaran parsial ini dapat terjadi akibat suplai oksidator yang terbatas, nyala ditiup atau dihembus, nyala didinginkan dengan dikenai permukaan dingin, pencampuran bahan bakar, dan oksidator yang tidak sempurna.
- d. *Spontaneous combustion*, terjadi apabila bahan bakar mengalami oksidasi secara perlahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak terlepas, menyebabkan temperatur bahan bakar naik secara perlahan sampai mencair titik bakarnya (*ignation point*) hingga bahan bakar habis terbakar dan menyala.

Pada kenyataannya sangat sulit bagi reaksi untuk pembakaran berlangsung dalam kondisi stokiometris, karena itulah dikenal istilah pembakaran dengan udara berlebihan. Alasan utama akan kebutuhan terhadap udara berlebihan (*excess air*) adalah karena kegagalan aliran (bahan bakar) dan udara untuk dapat bercampur sempurna pada daerah dimana pembakaran seharusnya dapat terjadi. Berlangsungnya pembakaran dipengaruhi oleh frekuensi tumbukan antara molekul bahan bakar dengan molekul oksigen. Bila terjadi defisiensi dari pencampuran kedua fluida, maka dibutuhkan oksigen berlebih untuk meningkatkan frekuensi tumbukan antara molekul tersebut.

Metode yang digunakan untuk menghubungkan kondisi udara aktual dalam sistem pembakaran dengan jumlah teoritis yang diperlukan dinyatakan sebagai *air*

factor (AF). *Air factor* (AF) dinyatakan sebagai *ratio* dari udara aktual yang digunakan (Arismunandar W, 1983).



Gambar 2.7 Proses pembakaran motor diesel

Pada Gambar 2.7 dapat dilihat tekanan udara akan naik selama langkah kompresi berlangsung. Beberapa derajat sebelum torak mencapai TMA bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi. Oleh karena temperaturnya sudah melebihi temperatur penyalaan bahan bakar, bahan bakar akan terbakar sendiri dengan cepat. Waktu yang diperlukan antara saat bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran dinamai periode persiapan pembakaran (1). Sesudah melampaui periode persiapan pembakaran, bahan bakar akan terbakar dengan cepat, hal tersebut dapat dilihat pada grafik sebagai garis lurus yang menanjak, karena proses pembakaran tersebut terjadi dalam suatu proses pengecilan volume (selama itu torak masih bergerak menuju TMA). Sampai torak bergerak kembali beberapa derajat sudut engkol sesudah TMA, tekanannya masih bertambah besar tetapi laju kenaikan tekanannya berkurang. Hal ini disebabkan karena kenaikan tekanan yang seharusnya terjadi dikompensasi oleh bertambah besarnya volume ruang bakar sebagai akibat bergeraknya torak dari TMA ke TMB (Cengel Yunus A, 1994).

Ketika terjadi kenaikan tekanan yang berlangsung dengan cepat (garis tekanan yang curam dan lurus, garis B-C pada grafik) dinamai periode pembakaran cepat (2). Periode pembakaran ketika masih terjadi kenaikan tekanan sampai melewati tekanan yang maksimum dalam tahap berikutnya (garis C-D),

dinamai periode pembakaran terkendali (3). Dalam hal terakhir ini jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam silinder sudah mulai berkurang, bahkan mungkin sudah dihentikan (titik D). Selanjutnya dalam periode pembakaran lanjutan (4) terjadi proses penyempurnaan pembakaran dan pembakaran dari bahan bakar yang belum sempat terbakar. Laju kenaikan tekanan yang terlalu tinggi tidaklah dikehendaki karena dapat menyebabkan beberapa kerusakan. Maka haruslah diusahakan agar periode persiapan pembakaran terjadi sesingkat-singkatnya sehingga belum terlalu banyak bahan bakar yang siap untuk terbakar selama waktu persiapan pembakaran. Karena itu segenap usaha haruslah ditujukan untuk mempersingkat periode persiapan pembakaran, antara lain dengan cara sebagai berikut :

1. Menggunakan perbandingan kompresi yang tinggi
2. Memperbesar tekanan dan temperatur udara masuk
3. Memperbesar volume silinder sedemikian rupa sehingga dapat diperoleh perbandingan luas dinding terhadap volume yang sekecil-kecilnya untuk mengurangi kerugian panas
4. Menyemprotkan bahan bakar pada saat yang tepat dan mengatur pemasukan jumlah bahan bakar yang sesuai dengan kondisi pembakaran
5. Menggunakan jenis bahan bakar yang sebaik-baiknya
6. Mengusahakan adanya gerakan udara yang turbulen untuk menyempurnakan proses pencampuran bahan bakar udara
7. Menggunakan jumlah udara untuk memperbesar kemungkinan bertemunya bahan bakar dengan oksigen dari udara.

Hal tersebut merupakan persyaratan mutlak bagi motor diesel karena proses pencampuran bahan bakar-udara hanya terjadi dalam waktu yang singkat. Jadi, bahan bakar yang sebaiknya digunakan pada motor Diesel adalah jenis bahan bakar yang dapat segera terbakar (sendiri), yaitu yang dapat memberikan periode persiapan pembakaran yang pendek. Sebagai bahan bakar standar dipergunakan bahan bakar hidrokarbon rantai lurus, yaitu *hexadecane* atau *cetane* ($C_{16}H_{34}$) dan *alpha-methylnaphtalene*.

$C_{16}H_{34}$ adalah bahan bakar dengan periode persiapan pembakaran yang pendek, kepadanya diberikan angka 100 (bilangan setana = 100). Sedangkan *alpha-methylnaphtalene* mempunyai periode pembakaran yang panjang, jadi tidak baik dipergunakan sebagai bahan bakar motor Diesel, kepadanya diberikan angka 0 (bilangan setana = 0).

Bahan bakar dengan bilangan setana yang lebih tinggi menunjukkan kualitas bahan bakar yang lebih baik untuk motor diesel. Bahan bakar motor Diesel komersial yang diperdagangkan mempunyai bilangan setana antara 35-55. Pada umumnya boleh dikatakan bahan bakar hidrokarbon dengan struktur atom rantai lurus mempunyai bilangan setana lebih tinggi daripada bahan bakar dengan struktur atom yang rumit. Motor Diesel kecepatan tinggi sebaiknya menggunakan bahan bakar dengan bilangan setana yang tinggi.

Demikianlah secara umum boleh dikatakan bahwa bahan bakar yang baik untuk motor Diesel adalah bahan bakar yang memiliki bilangan setana tinggi; viskositas yang rendah untuk mengurangi tekanan penyemprotan; sifat melumas yang baik supaya tidak merusak pompa tekanan tinggi; bulk modulus yang tinggi untuk memudahkan penyemprotan, dan titik didih yang tinggi supaya tidak mudah menguap. Selain itu diusahakan agar kadar belerang dan aromatiknya rendah serta adanya aditif untuk meningkatkan mutu bahan bakar.

2.2.4 Nilai Kalor Bahan Bakar

Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan panas. Besarnya panas yang ditimbulkan jika satu satuan bahan bakar dibakar sempurna disebut nilai kalor bahan bakar (*Calorific Value*). Berdasarkan asumsi ikut tidaknya panas laten pengembunan uap air dihitung sebagai bagian dari nilai kalor bahan bakar, maka nilai kalor bahan bakar dapat dibedakan menjadi nilai kalor atas dan nilai kalor bawah.

Nilai kalor atas (*High Heating Value*) *HHV*, merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan *bom kalorimeter* dimana hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar sehingga sebagian besar uap air yang terbentuk dari pembakaran hidrogen mengembun dan melepaskan panas latennya. Data yang diperoleh dari hasil pengujian bom kalorimeter adalah temperatur air pendingin sebelum dan sesudah penyalaan. Selanjutnya untuk menghitung nilai *High Heating Value* (*HHV*), dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times cv \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$$HHV = \text{Nilai Kalor Atas (KJ/Kg)}$$

- T_1 = Temperatur air pendingin sebelum penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 = Temperatur air pendingin sesudah penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)
- C_v = Panas jenis bom kalorimeter (73529,6 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)
- T_{kp} = Kenaikan temperatur akibat kawat penyala ($0,05^{\circ}\text{C}$)

Sedangkan nilai kalor bawah atau *Low Heating Value (LHV)* dihitung dengan persamaan berikut:

$$LHV_{\text{rata-rata}} = HHV_{\text{rata-rata}} - 3240 \dots \dots \dots (2.2)$$

Secara teoritis besarnya nilai kalor atas (HHV) dapat dihitung bila diketahui komposisi bahan bakarnya dengan menggunakan persamaan *Dulong* :

$$HHV = 33950 C + 144200 \left(H_2 - \left(O_2 \frac{02}{8} \right) \right) + 9400 S \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)
- C = Komposisi karbon dalam bahan bakar
- H_2 = Komposisi hidrogen dalam bahan bakar
- O_2 = Komposisi oksigen dalam bahan bakar
- S = Komposisi sulfur dalam bahan bakar

Nilai kalor bawah *Low Heating Value (LHV)*, merupakan nilai dari kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap air. Umumnya kandungan hidrogen dalam bahan bakar cair berkisar 15% yang berarti setiap satu satuan bahan bakar 0,15 bagian merupakan hidrogen. Pada proses pembakaran sempurna, air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah setengah dari jumlah mol hidrogen.

Selain berasal dari pembakaran hidrogen, uap yang terbentuk pada proses pembakaran dapat pula berasal dari kandungan air yang memang sudah ada didalam bahan bakar (*moisture*). Panas laten pengkondensasian uap air pada tekanan parsial 20 kN/m² (tekanan yang umum timbul pada gas buang) adalah sebesar 2400 kJ/kg, sehingga besar nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

LHV = Nilai kalor bawah (kJ/kg)

H₂O = komposisi uap air dalam bahan bakar (*moisture*)

Dalam perhitungan efisiensi panas dari mesin bakar, dapat menggunakan nilai kalor bawah (LHV) dengan asumsi pada suhu tinggi saat gas buang meninggalkan mesin tidak terjadi pengembunan uap air. Namun dapat juga menggunakan nilai kalor atas (HHV) karena nilai tersebut umumnya lebih cepat tersedia. Peraturan pengujian berdasarkan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor atas (HHV), sedangkan peraturan SAE (*Society OF Automotive Engineers*) menentukan nilai kalor bawah (LHV) (Amir Isril, 1996).

2.2.5 Air Fuel Ratio (AFR)

Didalam mesin, bahan bakar dibakar oleh udara. Udara kering merupakan campuran berbagai gas yang memiliki komposisi representatif 20% oksigen, 78,09% nitrogen, 0,93% argon, dan sisanya berupa CO₂, neon, helium, metana dan gas lainnya. Pada pembakaran, oksigen merupakan komponen reaktif dari udara. Bahan bakar yang digunakan pada motor bakar merupakan campuran dari berbagai komponen hidrokarbon yang didapat melalui proses penyulingan minyak. Bahan bakar ini didominasi oleh karbon sekitar 86% dan hidrogen 14%. Walaupun demikian bahan bakar diesel bisa mengandung kadar sulfur hingga 1 %. Pada pengujian mesin ini, aliran massa udara dan aliran massa bahan bakar biasanya diukur, namun jika tak terdapat alat ukur dapat dihitung melalui rumus berikut:

$$\text{AFR} = \frac{m_a}{m_f} = \frac{a}{f} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

a = laju aliran massa udara (kg/jam)

f = laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

Rentang AFR yang normal untuk mesin berpenyalaan kompresi (mesin diesel) dengan bahan bakar diesel adalah $18 \leq AFR \leq 70$ (Pulkrabek, 1997).

2.2.6 Efisiensi Thermal

Kerja berguna yang dihasilkan selalu lebih kecil daripada energi yang dibangkitkan piston karena sejumlah energi hilang akibat adanya rugi rugi mekanis (mechanical losses). Dengan alasan ekonomis perlu dicari kerja maksimum yang dapat dihasilkan dari pembakaran sejumlah bahan bakar. Efisiensi ini disebut juga sebagai efisiensi thermal brake (thermal efficiency, η_b).

Jika daya keluaran P_b dalam satuan kW, laju aliran bahan bakar m_f dalam satuan kg/jam, nilai kalor bawah bahan bakar LHV dalam satuan kJ/kg, maka:

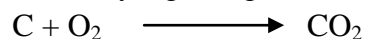
$$\eta_b = \frac{P_b}{m_f \cdot LHV} \times 3600 \dots\dots\dots (2.6)$$

2.3 Proses Terbentuknya Gas Buang

Setiap pembakaran pasti mempunyai gas produk atau yang kita kenal emisi, dibawah ini merupakan emisi yang dihasilkan dari pembakaran selain dari gas karbon dioksida (CO_2) yaitu :

- a. Karbon monoksida (CO)

Bila karbon didalam bahan bakar terbakar dengan sempurna, akan terjadi reaksi yang menghasilkan CO_2 seperti yang terlihat dibawah ini :



Apabila oksigen dalam udara tidak cukup, maka pembakaran akan berlangsung secara tidak sempurna, sehingga karbon yang terbakar akan menjadi :



Dengan kata lain, emisi CO dalam suatu pembakaran dipengaruhi oleh perbandingan campuran antara udara dengan bahan bakar.

- b. Hidrokarbon (HC)

Sumber emisi hidrokarbon dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah:

2. Bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan hidrokarbon lain yang keluar bersama dengan gas buang.

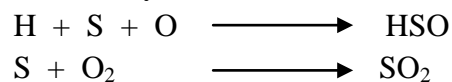
Sebab utama timbulnya hidrokarbon pada emisi gas buang adalah sekitar tempat terjadinya pembakaran bersuhu rendah, dimana suhu itu tidak mampu melakukan pembakaran.

c. Oksigen (O₂)

Oksigen (O₂) sangat berperan dalam proses pembakaran, dimana oksigen tersebut akan diinjeksikan ke ruang bakar. Dengan tekanan yang sesuai akan mengakibatkan terjadinya pembakaran bahan bakar.

d. Sulfur Oksidasi (SO_x)

Bahan bakar minyak solar mengandung unsur belerang (sulfur). Pada saat terjadi pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa sulfat dan sulfur oksidasi.



e. Nitrogen (N₂)

Udara yang digunakan untuk pembakaran sebagian besar terdiri dari senyawa nitrogen (N₂). Pada saat terjadi pembakaran, sebagian kecil N₂ akan bereaksi dengan O₂ dan membentuk NO₂. Sebagian besar lainnya tetap berupa senyawa nitrogen hingga keluar sebagai emisi.

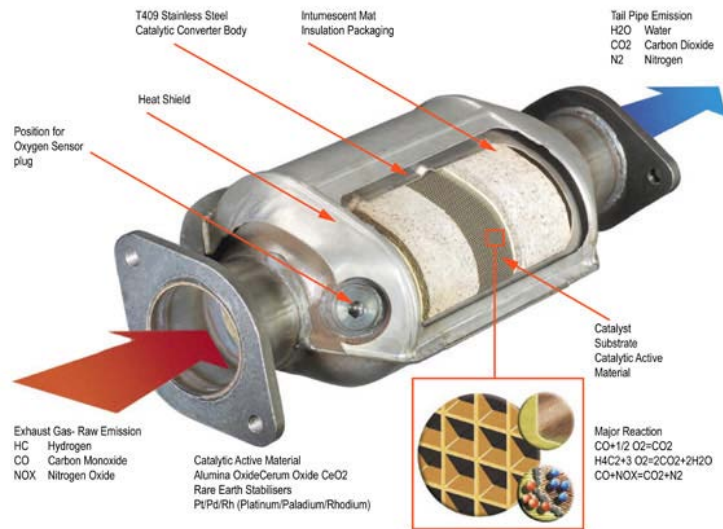
f. Uap air (H₂O)

H₂O merupakan hasil reaksi pembakaran, dimana air yang dihasilkan tergantung dari mutu bahan bakar. Makin banyak uap air dalam gas buang, menandakan pembakaran makin baik.

Untuk mesin Diesel emisi gas buang yang dilihat adalah opasitas (ketebalan asap).

2.4 Katalitik Konverter

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor saat ini berimbas pada kualitas udara yang buruk di daerah perkotaan menuntut pabrikan motor berinovasi, salah satunya adalah katalitik konverter yang terdapat pada mobil keluaran saat ini. Alat tersebut diperkenalkan ke publik pada tahun 1975 di Amerika Serikat, kebijakan tersebut sejalan dengan niat EPA (*Environmental Protection Agency* / Badan Pengawas Pencemaran Udara) dalam mengurangi intensitas pencemaran udara gas buang dikarenakan proses pembakaran kendaraan bermotor.



Gambar 2.8 Catalitic Converter (<http://proud2rideblog.com/2011/12/28/nih-bro-cara-kerja-catalytic-converter-di-knalpot-motor-injeksi>)

Ada dua jenis katalitik konverter dipasaran. Tipe Universal Fit dan tipe Direct Fit. Tipe universal fit dapat dipilih berdasarkan ukuran yang sesuai kemudian dilas di bagian saluran gas buang. Tipe direct fit merupakan tipe katalitik konverter yang hanya menggunakan baut untuk memasangnya di area saluran gas buang. Tipe universal merupakan jenis termurah daripada tipe direct fit, akan tetapi tipe direct fit lebih mudah pemasangannya daripada tipe universal fit.

Alat katalitik konverter tersusun dari dua katalis, yaitu katalis reduksi atau *reduction catalyst* dan *catalyst oksidasi (oxidization catalyst)*. Kedua katalis ini dilapisi logam, seperti platinum, rodium, dan paladium. Baik katalis reduksi maupun katalis oksidasi, struktur permukaannya di desain sedemikian rupa untuk memaksimalkan permukaan katalis sekaligus meminimalkan jumlah katalis yang dipakai. Perlu diketahui, harga katalis logam mahal. Ada dua jenis struktur permukaan, yaitu struktur sarang lebah (*honeycomb*) dan keramik (*ceramic beads*). Struktur sarang lebah lebih paling banyak digunakan.

Penggunaan katalitik konverter tidak hanya terbatas pada kendaraan bermotor seperti mobil dan sepeda motor, alat tersebut juga digunakan untuk truk, bis, kereta api, generator, kapal bermotor, dan masih banyak lainnya. Pengguna katalitik konverter dianjurkan melakukan pemeriksaan dan perawatan berkala untuk mengoptimalkan kinerja mesin dan efisiensi bahan bakar, pemeriksaan emisi gas buang kendaraan bermotor juga perlu dilakukan untuk mengetahui apakah katalitik konverter harus diganti dengan yang baru.

Kendaraan yang menggunakan katalitik konverter harus menggunakan bensin tanpa timbal, karena timbal pada bensin akan menempel pada katalis yang mengakibatkan katalisator tersebut tidak efektif. Agar katalitik konverter tersebut lebih efektif, campuran udara-bahan bakar harus dalam perbandingan stokiometri. Pada saat motor dilakukan pemanasan, udara sekunder dari pompa didorong menuju ruang udara pembatas. Udara tersebut membantu untuk mengoksidasi katalis mengubah HC dan CO menjadi karbon dioksida dan air. Berikut penjelasan tahapan kerja dari katalitik konverter

1. Tahap awal dari proses yang dilakukan pada katalitik konverter adalah reduction catalyst. Tahap ini menggunakan platinum dan rhodium untuk membantu mengurangi emisi NO_x. Ketika molekul NO atau NO₂ bersinggungan dengan katalis, sirip katalis mengeluarkan atom nitrogen dari molekul dan menahannya. Sementara oksigen yang ada diubah ke bentuk O₂. Atom nitrogen yang terperangkap dalam katalis tersebut diikat dengan atom nitrogen lainnya sehingga terbentuk format N₂. Rumus kimianya sebagai berikut: $2NO \Rightarrow N_2 + O_2$ atau $2NO_2 \Rightarrow N_2 + 2O_2$.
2. Tahap kedua dari proses di dalam katalitik konverter adalah oxidization catalyst. Proses ini mengurangi hidrokarbon yang tidak terbakar di ruang bakar dan CO dengan membakarnya (oxidizing) melalui katalis platinum dan palladium. Katalis ini membantu reaksi CO dan HC dengan oksigen yang ada di dalam gas buang. Reaksinya sebagai berikut; $2CO + O_2 \Rightarrow 2CO_2$.
3. Tahap ketiga adalah pengendalian sistem yang memonitor arus gas buang. Informasi yang diperoleh dipakai lagi sebagai kendali sistem injeksi bahan bakar. Ada sensor oksigen yang diletakkan sebelum katalitik konverter dan cenderung lebih dekat ke mesin ketimbang konverter itu sendiri. Sensor ini memberi informasi ke *Electronic Control System* (ECS) seberapa banyak oksigen yang ada di saluran gas buang. ECS akan mengurangi atau menambah jumlah oksigen sesuai rasio udara-bahan bakar. Skema pengendalian membuat ECS memastikan kondisi mesin mendekati rasio stoikiometri dan memastikan ketersediaan oksigen di dalam saluran buang untuk proses oksidasi HC dan CO yang belum terbakar.

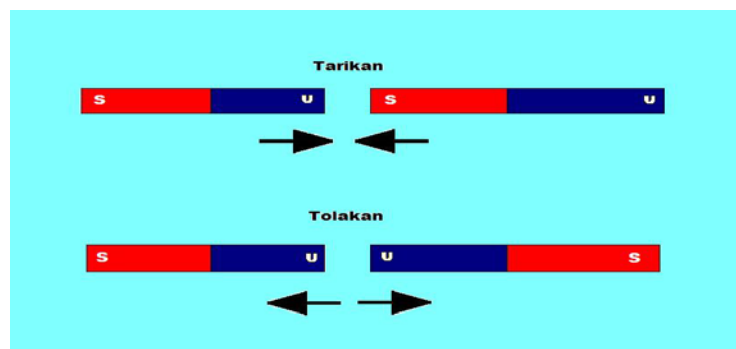
Setiap kendaraan memiliki jumlah sensor yang berbeda, tergantung dengan kebutuhan dan teknologi mesinnya. Umumnya kendaraan yang menggunakan

sistem injeksi menggunakan dua sensor oksigen yang berbeda tempat. Sensor tersebut berfungsi memberikan informasi ke ECS agar mengatur kembali pasokan udara kedalam ruang bakar.

2.5 Magnet

2.5.1 Asal Kemagnetan

Kata magnet berasal dari bahasa Yunani yaitu *magnes* atau *magnetis lithos* yang berarti batu dari magnesia. Magnet merupakan benda yang dapat menarik benda-benda lain di sekitarnya seperti besi, baja, dan kobalt. Kemagnetan adalah suatu fenomena material yang memperlihatkan suatu pengaruh gaya tarik atau gaya tolak terhadap material lain. Gaya bekerja pada suatu jarak tertentu dan dapat dianalisis dalam bentuk medan magnet. Seluruh material yang mempunyai sifat magnet seperti besi, nikel, dan kobalt, mempunyai kutub utara (N, north) dan kutub selatan (S, south). Kutub yang sejenis akan tolak-menolak dan kutub yang tidak sejenis akan tarik menarik. Gambar berikut memperlihatkan peristiwa ini.



Gambar 2.9 Kutub-kutub magnet

Sifat kemagnetan suatu bahan ditentukan oleh spin elektron dan gerak elektron mengelilingi inti (orbit). Spin elektron membentuk momen magnetik yang merupakan magnet-magnet kecil (magnet elementer). Spin elektron tersebut berpasangan dan tidak menimbulkan sifat kemagnetan, karena arah spinnya berlawanan sehingga saling meniadakan. Spin elektron yang tidak berpasangan bersifat sebagai magnet kecil. Sebuah magnet merupakan gabungan dari spin elektron (magnet-magnet kecil) yang arah spin (utara-selatan)-nya sama (Sears & Zemansky Addison Wesley 5th edision).

Dipol magnet dapat dianalogikan sebagai magnet batang yang terdiri dari kutub utara dan kutub selatan, pengganti dengan kutub + dan - dari dipol listrik. Pada lingkungan suatu medan magnet, dipol magnetik pada suatu material

cenderung terorientasi terhadap medan. Dipol magnet dapat menimbulkan medan magnet.

2.5.2 Medan Magnet

Medan magnet adalah daerah disekitar magnet yang dipengaruhi oleh gaya magnet. Area medan magnet itu biasa ditunjukkan dengan garis-garis gaya magnet. Garis-garis gaya magnet tersebut saling bertemu di ujung kedua kutubnya. Efek kemagnetan dapat dihasilkan melalui berbagai macam cara. Melalui eksperimen, orang mendapatkan bahwa arus listrik (muatan) yang bergerak menimbulkan medan magnet. Peristiwa ini dimanfaatkan untuk membuat elektromagnet, yaitu magnet yang bekerja apabila dialiri arus listrik. Elektromagnet digunakan dalam motor listrik, dalam bel listrik, dan juga dalam generator listrik.

Medan magnet juga dapat dihasilkan oleh sebatang magnet permanen, yang sifat kemagnetannya tidak tergantung dari ada atau tidaknya aliran listrik. Magnet permanen dibuat melalui sebuah proses khusus sehingga kekuatan magnetnya tidak akan hilang sekejap dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama.

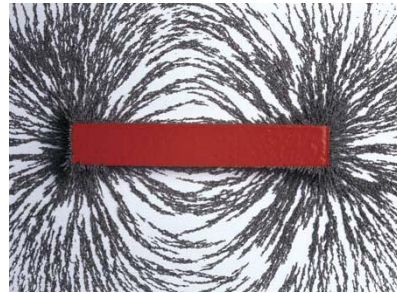
Medan magnet yang dihasilkan dari magnet permanen dapat dijelaskan melalui teori mengenai atom. Atom tersusun dari partikel-partikel yang bermuatan, yakni proton dan elektron yang bergerak konstan dan simultan. Kejadian yang menyebabkan timbulnya medan magnetik pada atom adalah:

1. Spin inti. Beberapa inti, seperti atom hidrogen, memiliki keadaan spin tetap yang menghasilkan medan magnet
2. Spin elektron. Elektron mempunyai spin yang dapat berputar menurut arah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam atau - Spin dari partikel bermuatan dapat menimbulkan medan magnet kecil atau momen magnet.
3. Pergerakan Orbital Elektron. Elektron yang berputar mengelilingi intinya akan menimbulkan medan magnet.

Setiap benda yang memiliki sifat kemagnetan dapat disebut magnet. Bila magnet diletakkan pada serbuk besi, serbuk besi akan menempel pada ujung-ujung dari magnet dan tidak ada yang menempel pada bagian tengah magnet. Bagian magnet yang mempunyai kemagnetan yang kuat disebut kutub magnet. Kutub magnet ada dua macam yaitu Utara (U) dan Selatan (S).

Bila serbuk besi ditaburkan di atas kaca dan sebuah magnet yang berbentuk tapal kuda ditempatkan di bawah kaca, serbuk besi akan membentuk formasi seperti gambar

dibawah. Ini menandakan bahwa serbuk besi dipengaruhi oleh kedua kutub utara (U) dan selatan (S) dari magnet tersebut.



Gambar 2.10 Formasi serbuk besi yang dipengaruhi medan magnet (<http://badarudin89.blogspot.com/2012/01/magnet.html>)

Serbuk besi nampaknya tersebar disepanjang garis-garis yang tidak terlihat. Garis-garis ini disebut garis gaya magnet (*magnetic line*) dan secara keseluruhan disebut fluksi magnet (*magnetic flux*). Garis-garis gaya magnet akan selalu ada meskipun serbuk besi tidak ditaburkan di sekeliling magnet.

Bila kutub U suatu magnet dan kutub S magnet lainnya didekatkan satu dengan yang lainnya di bawah sepotong kaca, dengan serbuk besi tersebar di atasnya, dengan mudah dikatakan bahwa saling tertarik satu dengan yang lainnya,

Karakteristik yang dimiliki oleh Fluksi magnet diantaranya adalah :

1. Fluksi magnet dimulai dari kutub U dan berakhir di kutub S suatu magnet atau magnet-magnet.
2. Arah dari fluksi magnet adalah sesuai dengan arah kutub U jarum magnet bila jarum berada dalam fluksi

Seperti halnya sabuk karet, garis gaya magnet di dalam fluksi berusaha sependek mungkin, sejajar dan sedekat mungkin dengan poros U-S dari medan magnet. Pada saat yang sama, cenderung menolak garis gaya magnet lainnya yang searah, sehingga juga cenderung membentuk busur keluar dari poros U-S.

Kekuatan magnet dihasilkan oleh *magnetik flux density*. Yang diukur dalam satuan Gauss. Jenis magnet yang digunakan untuk refrigerator mempunyai kekuatan sekitar 1000 Gauss sedangkan *water treatment* dan bahan bakar mempunyai tingkatan sekitar 2000 sampai 4000 Gauss.

2.5.3 Jenis Material Magnet

Berdasarkan konfigurasi elektron, efek magnet pada material terbagi :

- a. Diamagnetik

Material yang semua momen spin elektronnya *bercouple*. Pada suatu medan magnet eksternal momen, magnet terinduksi (termagnetisasi) secara lemah karena $X_m < 0$ (lemah); X_m menandakan magnetisasi yang didapat pada suatu medan magnet. Asal momen magnet berasal dari orbit elektron sekitar inti, yang menghasilkan medan magnet. Pada suatu medan magnet eksternal, ekstra *torque* diaplikasikan ke elektron menghasilkan orientasi anti-paralel momen magnet atom, yang lemah terhadap medan magnet, karena $X_M < 0$.

b. Paramagnetik

Material yang memiliki atom, ion, dan molekul yang berspin tak terkompensasi dan batas momen magnet spin permanen. Pada non medan magnet eksternal, orientasi momen magnet atom acak, karena dipol atom bergerak bebas. Momen spin yang lebih besar dari pada momen orbitnya menyebabkan perilaku material saat medan magnet eksternal mengindikasikan momen magnet spin. Pada suatu medan magnet, momen spin yang tak terkompensasi terorientasi (terinduksi, $X_m > 0$) hingga beberapa derajat terhadap arah medan magnet (magnetisasi).

c. Ferromagnetik

Kasus khusus paramagnetik dimana momen magnet spin atom-atom terdekat (*coupling*) terorientasi (*mutually spin alignment*) saat non-medan eksternal. Material memiliki $X_m > 0$ (*magnetic susceptibility* yang sangat kuat). Spin yang tak terkompensasi pada individu atom-atom dapat saling berpasangan langsung (*direct exchange*) atau melalui anion intermediat seperti oksigen (*super exchange*).

Tidak seperti paramagnetik, saat medan magnet eksternal dilepas, material menyisakan bagian yang termagnetisasi permanen (Fenomena histerisis). Magnetisasi maksimum (saturasi), M_S menggambarkan magnetisasi yang dihasilkan semua dipol magnet yang terorientasi dengan medan magnet eksternal.

2.5.4 Pengaruh Suhu Terhadap Perilaku Magnet

Peningkatan suhu menyebabkan peningkatan vibrasi atom-atom, sehingga mengacak beberapa momen yang terorientasi. Pada ferro-, antiferro-, dan ferromagnetik, vibrasi termal meniadakan gaya *coupling* antara momen dipol atom-atom berdekatan (beberapa dipol akan kehilangan orientasi), sehingga magnetisasi menurun. Magnetisasi bernilai maksimum pada saat vibrasi minimum (0 K). Peningkatan suhu menurunkan secara perlahan magnetisasi, yang turun hingga nol pada suhu *curie* T_c (spesifik untuk material). Saat T_c gaya *coupling* spin mutual (ferro- dan ferri- magnetik) hilang sempurna (paramagnetik). Peningkatan suhu juga menurunkan kemagnetan anti ferromagnetik hingga suhu Neel, T_{Ne} , setelah itu kemagnetan meningkat.

2.6 Efek Magnetisasi pada Bahan Bakar Diesel

2.6.1 Reaktivitas Molekul

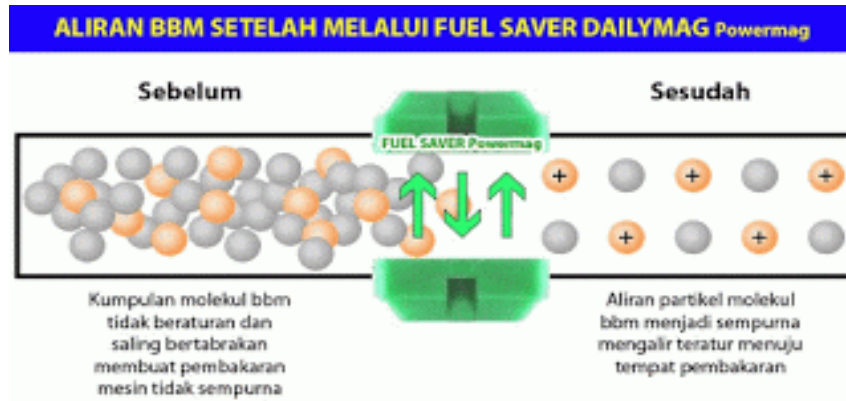
Adanya medan magnet statis yang besar, awan elektron mengelilingi molekul, sehingga molekul bersifat terpolarisasi dan memberikan kenaikan pada medan yang kecil. Posisi inti atom, pada medan yang sesungguhnya tidak hanya tergantung sekitarnya, akan tetapi sekeliling molekul sendiri. Pada keadaan cair, reorientasi molekul terjadi secara acak.

Jika atom yang diletakkan dalam medan magnet yang seragam, elektron yang mengelilingi inti menjadi berputar. Perputaran ini menyebabkan medan magnet sekunder yang arahnya berlawanan dengan arah medan magnet yang diberikan.

Ketika solar masih berada dalam suatu penyimpanan bahan bakar, molekul hidrokarbon, yang merupakan penyusun utama solar, cenderung untuk saling tertarik satu sama lain, membentuk molekul-molekul yang bergerombol (*clustering*). Penggumpalan ini akan terus berlangsung, sehingga menyebabkan molekul-molekul hidrokarbon tidak saling berpisah pada saat bereaksi dengan oksigen diruang bakar. Akibat buruk buruk yang ditimbulkannya adalah ketidak sempurnaan pembakaran yang dapat dibuktikan secara sederhana dengan ditemuinya kandungan hidrokarbon pada gas buang.

Adanya suatu medan magnet permanen yang cukup kuat pada molekul hidrokarbon yang bersifat diamagnetik akan menyebabkan reaksi penolakan antar molekul hidrokarbon (*desclustering*) sehingga terbentuk jarak yang optimal antar molekul hidrokarbon.

Partikel-partikel atom yang membentuk molekul hidrokarbon tersebut akan terpengaruh oleh medan magnet yang ditimbulkan sehingga akhirnya akan menjadi semakin aktif dan arahnya akan terjajar (reorientasi) sesuai dengan arah medan magnet. Aktivitas molekular yang meningkat akibat medan magnet akan menyebabkan penggumpalan molekular terpecah. Oksigen akan lebih mudah bereaksi dengan masing-masing molekul hidrokarbon yang tidak lagi berada dalam gumpalan, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan penurunan kadar emisi gas buang.



Gambar 2.11 Declustering Molekul Hidrokarbon yang Melewati Magnet (<http://powermagfuelsaver.blogspot.com/2008/12/penghemat-bahan-bakar-kendaraan-anda.html>)

Pemecah gumpalan-gumpalan (*desclustering*) molekul hidrokarbon ini dapat dijelaskan juga melalui teori mengenai momen ikatan. Sebagai contoh, apabila ikatan polar seperti O-H dibiarkan dalam medan magnet, maka ikatan akan mengalami sejumlah gaya balik tertentu. Gaya ini secara sederhana mendorong medan magnet untuk membebaskan ikatan dalam medan. Ikatan yang lebih polar mengalami gaya lebih besar daripada ikatan yang kurang polar. H-C termasuk ikatan non-polar, karena nilai momen ikatannya hanya sebesar 0,4 D (*Debye*). Namun medan magnet yang kuat dapat mengganggu dan mempengaruhi ikatan H-C. Meskipun ikatan antara atom H-C tidak sampai terlepas satu sama lain, namun setidaknya kekuatannya akan sedikit melemah, sehingga atom-atom hidrogen dan karbon akan lebih mudah tertarik dengan oksigen pada proses pembakaran.

Salah satu tujuan pemagnetan adalah mempolarisasi solar agar memiliki kecenderungan bersifat polar. Apabila hal ini dapat terlaksana, ketertarikan senyawa hidrokarbon dengan oksigen akan lebih kuat bila dibandingkan hidrokarbon tersebut sama sekali netral. Seperti diketahui, apabila suatu molekul bersifat polar, maka kecenderungan menarik molekul lain yang bersifat polar akan semakin kuat. Hal ini kan meningkatkan proses pencampuran oksigen dan molekul hidrokarbon sehingga akan menyempurnakan pembakaran.

Pendekatan ini menyebutkan bahwa sebagian besar senyawa hidrokarbon apabila dikenai medan magnet maka akan mempengaruhi bidang rotasi dari molekul pembentuk hidrogen.

2.7 Pelumasan

2.7.1 Pengertian Pelumasan

Pelumas adalah zat kimia, yang umumnya cairan, yang diberikan di antara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek. Zat ini merupakan fraksi hasil destilasi minyak bumi yang memiliki suhu 105-135 derajat celcius.

Pelumasan adalah pemisahan dari dua permukaan benda padat yang bergerak secara tangensial terhadap satu sama lain dengan cara menempatkan suatu zat diantara kedua benda padat tadi (Karyanto E, 1986).

Pelumas memegang peranan penting dalam desain dan operasi semua mesin otomotif. Umur dan service yang diberikan oleh mesin tergantung pada perhatian yang kita berikan pada pelumasannya. Semua jenis oli pada dasarnya memiliki fungsi sama, yakni sebagai bahan pelumas agar mesin berjalan mulus dan bebas gangguan sekaligus berfungsi sebagai pendingin dan penyekat. Minyak pelumas atau yang sering disebut Oli mengandung lapisan-lapisan halus yang berfungsi mencegah goresan atau keausan. Untuk beberapa keperluan tertentu, aplikasi khusus pada fungsi tertentu, oli dituntut memiliki fungsi tambahan. Mesin diesel misalnya, secara normal beroperasi pada kecepatan rendah tetapi memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bensin.

Minyak pelumas atau oli memiliki beberapa jenis, yaitu Oli Mineral dan Oli Sintetis. Oli mineral berbahan oli dasar (base oil) yang diambil dari minyak bumi yang telah diolah dan disempurnakan. Beberapa pakar mesin memberikan saran jika telah biasa menggunakan oli mineral selama bertahun-tahun maka jangan langsung menggantinya dengan oli sintetis dikarenakan oli sintetis umumnya mengikis deposit (sis) yang ditinggalkan oli mineral sehingga deposit tadi terangkat dari tempatnya dan mengalir ke celah-celah mesin sehingga mengganggu pemakaian mesin. Sedangkan Oli Sintetis biasanya terdiri atas Polyalphaolifins yang merupakan bagian terbersih dari pemilahan oli mineral yakni gas. Senyawa ini kemudian dicampur dengan oli mineral. Inilah mengapa oli sintetis bisa dicampur dengan oli mineral dan sebaliknya. Oli sintetis cenderung tidak mengandung bahan karbon reaktif, senyawa yang sangat tidak bagus untuk oli karena cenderung bergabung dengan oksigen sehingga menghasilkan acid (asam). Pada dasarnya oli sintetis didesain untuk menghasilkan kinerja yang lebih efektif dibandingkan dengan oli mineral.

Kekentalan (Viskositas) merupakan salah satu unsur kandungan oli paling rawan karena berkaitan dengan ketebalan oli atau seberapa besar resistensinya untuk mengalir. Kekentalan oli langsung berkaitan dengan sejauh mana oli berfungsi sebagai pelumas sekaligus pelindung benturan antar permukaan logam. Oli harus mengalir ketika suhu mesin atau temperatur ambient. Mengalir secara

cukup agar terjamin pasokannya ke komponen-komponen yang bergerak. Lapisan halus pada oli kental memberi kemampuan ekstra menyapu atau membersihkan permukaan logam yang terlumasi. Untuk itu, oli harus memiliki kekentalan lebih tepat pada temperatur tertinggi atau temperatur terendah ketika mesin dioperasikan. Dengan demikian, oli memiliki *grade* (derajat) tersendiri yang diatur oleh *Society of Automotive Engineers* (SAE). Bila pada kemasan oli tersebut tertera angka SAE 5W-30 berarti 5W (*Winter*) menunjukkan pada suhu dingin oli bekerja pada kekentalan 5 dan pada suhu terpanas akan bekerja pada kekentalan 30. Tetapi yang terbaik adalah mengikuti viskositas sesuai permintaan mesin. Umumnya, mobil sekarang punya kekentalan lebih rendah dari 5W-30. Karena mesin belakangan lebih *sophisticated* (mutakhir-canggih) sehingga kerapatan antar komponen makin tipis dan juga banyak celah-celah kecil yang hanya bisa dilalui oleh oli encer. Tak baik menggunakan oli kental (20W-50) pada mesin seperti ini karena akan mengganggu debit aliran oli pada mesin dan butuh semprotan lebih tinggi. Untuk mesin lebih tua, *clearance* bearing lebih besar sehingga mengizinkan pemakaian oli kental untuk menjaga tekanan oli normal dan menyediakan lapisan film cukup untuk bearing.

Untuk mengukur standar mutu pelumas dipakai standar *American Petroleum Institute* (API). *American Petroleum Institute* adalah sebuah lembaga resmi di Amerika Serikat yang diakui di seluruh dunia, yang membuat kategori pelumas sesuai dengan kerja mesin. Klasifikasi pelumas mesin berbahan bakar bensin ditandai dengan huruf S sedangkan untuk mesin diesel ditandai dengan huruf C. Klasifikasi sesuai dengan tingkat kemampuan pelumas dimulai dari yang terendah adalah SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ dan SL (untuk mesin bensin). Sedangkan untuk mesin diesel yaitu CA, CB, CC, CD, CE, CF-4, CH-4 dan CI-4.

Pelumas yang memenuhi standar mutu ditandai dengan pencantuman kata "API Service", diikuti dengan klasifikasinya. Contoh: Untuk mesin diesel. Pelumas dengan API Service CH-4 lebih baik kemampuan kerjanya dari pelumas API Service CF-4 demikian seterusnya. Oleh pembuat mesin, setiap kendaraan sudah ditentukan spesifikasi apa yang harus digunakan, yang tercantum dalam buku manual. Menggunakan pelumas yang spesifikasinya lebih tinggi dari yang ditentukan oleh pembuat mesin, tidak jadi masalah. Tetapi sangat tidak disarankan menggunakan pelumas dengan klasifikasi lebih rendah dari yang ditentukan karena akan berakibat kurang baik pada mesin.

2.7.2 Sifat-Sifat Minyak Pelumas

a. Umum

Agar menghasilkan suatu pelumasan yang baik, maka diperlukan minyak pelumas yang dapat memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan sesuai

kebutuhan. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan minyak pelumas adalah :

1. Tekanan bantalan
 2. Kecepatan pergesekan
 3. Bahan yang bergesekan
 4. Ruang antara bahan yang bergesekan
 5. Aksesabilitas
 6. Suhu dan tekanan kerja
-
- b. Viscosity adalah kekentalan suatu minyak pelumas yang merupakan ukuran kecepatan bergerak atau daya tolak suatu pelumas untuk mengalir. Pada temperatur normal, pelumas dengan viscosity rendah akan cepat mengalir dibandingkan pelumas dengan viscosity tinggi.
 - c. Viscosity Index (Indeks viskositas); merupakan kecepatan perubahan kekentalan suatu pelumas dikarenakan adanya perubahan temperatur. Makin tinggi VI suatu pelumas, maka akan semakin kecil terjadinya perubahan kekentalan minyak pelumas meskipun terjadi perubahan temperatur.
 - d. Flash point (titik nyala) suatu pelumas adalah menunjukkan temperatur kerja suatu pelumas dimana pada kondisi temperatur tersebut akan dikeluarkan uap air yang cukup untuk membentuk campuran yang mudah terbakar dengan udara.
 - e. Pour point merupakan titik temperatur dimana suatu pelumas akan berhenti mengalir dengan leluasa.
 - f. Aniline point; merupakan petunjuk bahwa minyak pelumas tertentu sesuai sifat-sifatnya dengan sifat-sifat karet yang digunakan sebagai seal dan slang.
 - g. Ash; Apabila pelumas habis terbakar maka akan terbentuk abu (ash) atau abu sulfat. Hal ini berhubungan dengan pengukuran kemurnian suatu pelumas.
 - h. Neutralisation Number or Acidity; merupakan ukuran dari alkali yang diperlukan untuk menetralkan suatu minyak.