

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KARAKTERISTIK MOTOR DIESEL

Motor Diesel merupakan jenis motor bakar alam atau *internal combustion engine*. Beberapa karakteristik motor diesel yang membedakan dengan motor bakar lainnya adalah :

a. Metode penyalaan bahan bakar

Didalam motor diesel bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara bertekanan tinggi. Selama kompresi udara alam silinder motor maka suhu udara meningkat, sehingga ketika bahan bakar dalam bentuk kabut halus bersinggungan dengan udara panas ini akan menyala dan tidak dibutuhkan alat penyalaan lain dari luar. Sehingga motor diesel disebut juga motor penyalaan kompresi.

Pembakaran yang dilakukan pada motor diesel :

- Volume udara yang dibutuhkan pada pembakaran

Bahan bakar terbakar oleh adanya zat asam yang terkandung dalam udara. Oleh karena yang terkandung dalam udara kebanyakan zat lumpur dan hanya sedikit sekali zat asam maka volume udara yang dibutuhkan untuk pembakaran satu kg solar adalah kira-kira 15 kg dalam perhitungan terjadi (*Ref No. 4, hal 7*). Akan tetapi secara kenyataan adalah sukar untuk melakukan pembakaran yang berlangsung sangat singkat dengan penggunaan 100% udara. Oleh sebab itu sesungguhnya dibutuhkan selalu lebih banyak dari kebutuhan udara menurut perhitungan teori.

- Pembakaran

Pembakaran bahan bakar ke dalam ruang bakar pada saat kompresi dilakukan sedikit dimajukan sebelum TMA. Gambar 2.1 menunjukkan perubahan tekanan dalam silinder pada langkah kompresi dan langkah kerja. Bahan bakar diinjeksi pada titik A sedikit sebelum akhir langkah

kompresi. Bahan bakar pada saat ini tidak langsung terbakar tetapi baru menyala pada titik B. Waktu dari A – B disebut waktu pembakaran tertunda yaitu waktu yang diperlukan untuk menguapkan titik-titik bahan bakar sampai mencapai panas temperatur nyala bahan bakar. Setelah bahan bakar terbakar api merambat dengan cepat mengakibatkan tekanan naik mendadak seperti ditunjukkan garis B – C. Selanjutnya bahan bakar yang disemprotkan terbakar langsung sehingga tekanan naik lebih lembut seperti garis C – D.

- Injeksi

Yang dimaksud injeksi adalah permulaan penginjeksian bahan bakar pada saat putaran idle adalah kira-kira 4-20 derajat sebelum TMA.

- Knocking Motor Diesel

Karakteristik ini terjadi apabila pembakaran sekaligus campuran bahan bakar dan udara yang terjadi selama waktu pembakaran tertunda sehingga tekanan naik dengan sangat tiba-tiba mudah terjadi.

b. Puntiran yang tidak tergantung kecepatan

Motor menghasilkan puntiran yang tidak tergantung pada kecepatan, karena banyaknya udara masuk ke dalam silinder dalam setiap langkah hisap dari torak, hanya sedikit yang dipengaruhi kecepatan motor.

c. Efisiensi panas lebih tinggi

Dengan sedikit bahan bakar untuk setiap penyediaan daya yang sama serta penggunaan bahan bakar yang lebih murah daripada bensin.

*(Ref. No. 1, hal 8)*

## 2.2 PEMBAGIAN MOTOR DIESEL

Motor Diesel dapat dibagi menjadi beberapa kelompok yang dibedakan menjadi berikut :

a. Daur Operasi

Motor diesel dapat dibagi menjadi dua operasi yaitu pada daur operasi tekanan konstan dan yang beroperasi pada daur kombinasi. Motor dengan pembakaran yang dilaksanakan pada tekanan konstan biasanya dipakai pada

motor besar dengan injeksi udara tekanan rendah. Suatu daur kombinasi atau dwi pembakaran daurnya adalah satu bagian bahan bakar terbakar pada volume konstan seperti pada motor bensin dan bagian yang lain terbakar pada tekanan yang mendekati konstan, daur ini khusus untuk motor injeksi tanpa udara kecepatan menengah dan kecepatan yang tinggi.

b. Metode Pengisian

Motor diesel dapat dibagi menjadi empat langkah dan dua langkah. Dalam motor empat langkah selama dua langkah dari torak atau satu putaran poros engkol, torak dan silinder bekerja sebagai pompa yang mengeluarkan hasil pembakaran dari daur sebelumnya dan mengisi dengan udara yang segar. Dalam motor dua langkah silinder diisi dan dibilas oleh udara segar dengan udara bertekanan yang dihembus dari luar.

c. Desain Umum

Klasifikasi desain umum dari motor adalah motor horizontal, vertikal, satu garis, vee, torak berlawanan, juga motor silinder tunggal dan jamak.

*(Ref No. 4, hal 2)*

### **2.3 UNJUK KERJA MOTOR DIESEL**

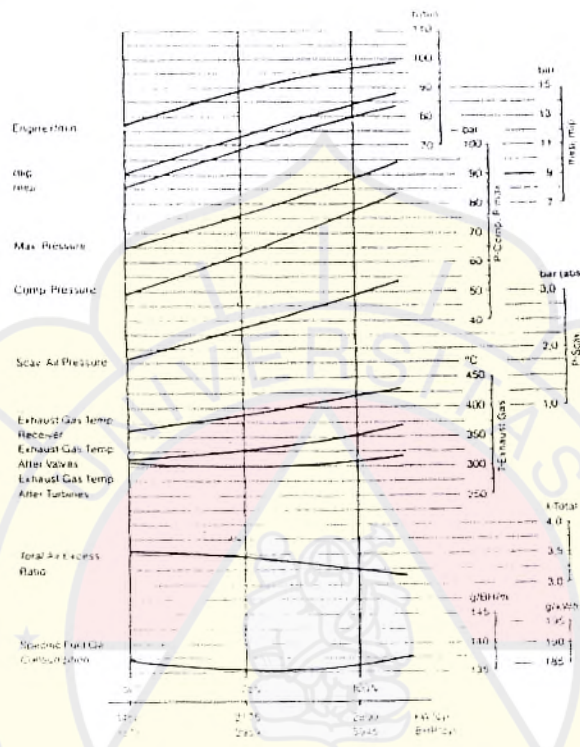
Pemilihan Diesel Engine yang tepat sebagai penggerak utama merupakan hal yang penting dalam membuat sebuah alat transportasi, terutama kapal laut. Parameter yang diperlukan dalam pemilihan Diesel Engine, adalah :

- a. Maksimum Rating
- b. Derating
- c. Temperatur Gas Buang
- d. Tekanan Efektif Rata-Rata
- e. Tekanan Indikatif Rata-Rata
- f. Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)
- g. Keseimbangan Energi

Parameter untuk motor diesel marine yang paling penting adalah angka atau besaran rating, dinyatakan dalam satuan BHP atau kW per silinder pada putaran permenit yang ditentukan. Pabrik diesel selalu menyajikan CSR

(*continuous service rating*) dan MCR (*maximum continuous rating*) serta *overload rating* dari motor yang dibuatnya.

Secara visual, kurva performance diesel engine dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Typical Performance Diesel Engine 2 langkah  
(Ref No 5, hal 1.1-71)

### 2.3.1 MAKSIMUM RATING

Daya yang dihasilkan diesel engine didefinisikan sebagai kemampuan daya keluaran motor diesel tersebut pada kecepatan yang telah ditentukan sesuai batasan-batasan kondisi, siklus kerja dan umur engine. (Ref No. 5, hal 1-71)

Secara praktis, daya maksimum diesel engine terpenuhi, apabila faktor dibawah ini terpenuhi, antara lain :

- a. Persentase maksimum bahan bakar minyak yang dapat dimasukkan terbakar secara efektif dalam isi silinder yang tersedia (pembakaran harus sama sekali sedini mungkin dalam langkah kerja).

- b. Secara umum tegangan-tegangan thermis dan mekanis yang terjadi pada bagian-bagian motor telah mencapai tingkat aman tertinggi yang mungkin tercapai untuk operasi terus menerus.
- c. Kecepatan piston dan karena itu juga putaran permenit tidak dapat dinaikkan lagi secara aman. *(Ref No. 5, hal 1-71)*

Untuk suatu isi silinder tertentu, ada kemungkinan satu model motor dapat lebih efektif membakar BBM bila dibandingkan dengan model lainnya. Hal ini terjadi sebagai akibat lebih efektifnya pembilasan, tekanan turbocharger yang lebih tinggi, lebih sesuainya ruang pembakaran serta rancangannya dan metode pengabutan yang lebih sesuai. Demikian juga batas ketahanan material dari silinder, torak dan lain bagian satu motor lebih baik dari yang lain.

Daya motor diesel yang digunakan untuk penentuan rating dibedakan menjadi :

a. IHP

IHP atau Indicated Horse Power didefinisikan sebagai tenaga yang terjadi dalam ruang bakar (*combustion chamber*) dalam silinder tanpa menghiraukan kehilangan atau *losses* karena gesekan yang terjadi dalam motor diesel.

Persamaan Daya Indikator :

$$N_i = k_l \times \text{rpm} \times p_i \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- $p_i$  = tekanan indikasi rata-rata
- $p_i = A / (L \times C_s)$
- A = luasan diagram indikator, ditemukan oleh planimeter ( $\text{mm}^2$ )
- L = panjang diagram indikator atau garis atmosfer (mm)
- $C_s$  = konstanta pegas (mm/bar)
- rpm = putaran engine
- $k_l$  = konstanta silinder
- $k_l = 1,30900 \times D^2 \times S$  (untuk daya dengan Satuan kW)
- $k_l = 1,77968 \times D^2 \times S$  (untuk daya dengan satuan BHP)

*(Ref. No 5, hal 36-71)*

Persamaan diatas berlaku jika terdapat diagram indikator yang terpasang di motor diesel.

b. BHP

Daya poros merupakan daya kerja efektif dari suatu engine, daya poros yang terjadi berkisar antara 30 s/d 45 % dari besar daya yang ditimbulkan pada pembakaran. (*Ref No 2, hal 15*). Hal ini dikarenakan adanya losses - losses selama proses berlangsung, diantaranya :

❖ Kerugian Mekanis

Lossis Mekanis merupakan kerugian yang disebabkan oleh adanya gesekan, diantaranya gesekan antara torak dan dinding silinder, bantalan, roda gigi, daya untuk menggerakkan pompa bahan bakar, katup, generator, dan lain-lain. Besar kerugian mekanis antara 4 s/d 11 %. (*Ref No 2, hal 15*).

❖ Kerugian Pendinginan

Lossis Pendinginan merupakan kerugian adanya penyerapan kalor dari engine oleh air pendingin. Besar lossis pendinginan berkisar antara 11 s/d 25%. (*Ref No 2, hal 15*).

❖ Kerugian gas buang

Lossis gas buang merupakan kerugian panas dari gas buang yang langsung di buang ke udara bebas. Hal ini dapat dikurangi dengan pemanfaatan gas buang dengan memasang Turbocharger yang digunakan untuk menggerakkan kompressor untuk kemudian dimasukkan kedalam ruang bakar. Besar lossis gas buang adalah 30 s/d 40 %. (*Ref No 2, hal 15*)



Gambar 2.2 Neraca Kalor Diesel engine (*Ref No. 2, hal 15*)

Untuk menghitung daya poros digunakan dynamometer yang di hubungkan dengan poros motor, alat tersebut berfungsi untuk mengukur momen puntir atau torsi (T). Putaran poros diukur menggunakan tachometer, sehingga daya poros dapat dihitung.

Untuk menghitung daya efektif motor diesel digunakan persamaan :

- $N_e = \frac{\text{brake work output (Nm) per cylinder per mechanical cycle}}{\text{swept volume per cylinder (m}^3\text{)}} \quad (2.2)$

- $N_e = p_b L A N'$

- $N_e = p_b (L A n) N^* \dots\dots\dots (2.3)$

- $N_e = p_b V_s N^*$

Keterangan :

L = piston stroke (m)

A = luasan piston (m<sup>2</sup>)

n = jumlah silinder

V<sub>s</sub> = engine swept volume (m<sup>3</sup>)

(Ref No. 12, hal 1)

N' = jumlah siklus mekanik per detik

N\* = N'/n

N\* = rps untuk 2 langkah      N\* = rps/2 untuk 4 langkah

- $N_e = M_p \times \omega \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.4)$

Keterangan :

N<sub>e</sub> = Daya efektif (kW)

M<sub>p</sub> = Momen puntir (Nm)

ω = Kecepatan sudut (1/s)

ω = 2 x π x n

n = Putaran motor (rps)

(Ref No. 12, hal 1)

Persamaan diatas berlaku apabila terdapat peralatan dynamometer sebagai penyerap daya dari diesel engine.

Atau dapat menggunakan persamaan :

- $N_e = k_1 \times \text{rpm} \times p_e \dots\dots\dots (2.5)$

Keterangan :

- Ne = Daya efektif (kW)
- pe = tekanan efektif rata-rata (bar)
- pe = pi - k2 ..... (2.6)
- k2 = berdasarkan pengalaman, k2 bernilai 1 bar
- pe = pi - 1 (bar)

dengan syarat memiliki diagram indikator. (*Ref. No. 5, hal. 35*)

- $Ne \propto RPM_{seatrial}$
- $Ne \propto LCV$  ..... (2.7)

Keterangan :

- Ne = daya
- LCV = low calorific value
- $RPM_{seatrial}$  = RPM yang dihasilkan ketika sea trial

### 2.3.2 DERATING

Derating merupakan penyetelan kinerja motor pada tekanan silinder maksimum untuk putaran poros baling-baling yang lebih rendah dari kecepatan normal.

Menghemat konsumsi spesifik BBM dengan cara menyetel motor derated dapat mencapai sampai 5 gr/BHP (*Ref No. 5, hal 3*). Apabila kemudian hari kapal tersebut dikehendaki untuk dapat dioperasikan pada output potensial penuhnya (biasanya berkisar sekitar 15-20% diatas nilai derated), baling-baling kapal perlu diganti baru. (*Ref No. 5, hal 3*)

Secara umum, derating mengikuti persamaan :

- Diderating mengikuti tenaga keluaran terkecil pada rpm untuk mengurangi MEP, dengan harapan mendapatkan harga SFOC, SFC dan biaya perawatan lebih rendah.
- Diderating mengikuti rpm rendah, tetapi pada MEP, dengan harapan SFC lebih rendah, tetapi biaya perawatan lebih tinggi.
- Diderating mengikuti rpm rendah, MEP rendah, dengan harapan biaya perawatan rendah, efisiensi propeller lebih tinggi.



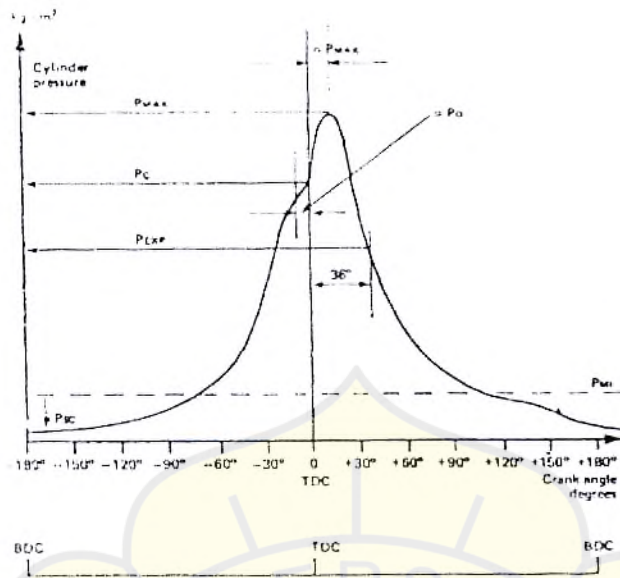
### **2.3.3 TEKINAN EFEKTIF RATA-RATA (*BRAKE MEAN EFFECTIVE PRESSURE*)**

Tekanan Efektif Rata-Rata atau *Brake Mean Effective Pressure* merupakan besaran yang berguna bagi operator motor-motor industri dan motor diesel bantu kapal yang tidak dilengkapi dengan peralatan mekanis untuk pengambilan diagram indikator. Besaran ini didapat dari pengukuran daya motor dengan menggunakan dynamometer (brake), digunakan untuk perhitungan efisiensi mekanis. (persamaan 2.6).

### **2.3.4 TEKINAN INDIKATIF RATA-RATA (*INDICATED MEAN EFFECTIVE PRESSURE*)**

Tenaga yang dihasilkan oleh motor diesel dapat ditemukan dengan terlebih dahulu mendapatkan tekanan rata-rata yang berguna yang didapat dari suatu diagram yaitu tekanan rata-rata yang berguna yang didapat dari suatu diagram yaitu tekanan rata-rata terindikasi (*indicated mean effective pressure*). Diagram indikator merupakan diagram yang menunjukkan naik turun tekanan campuran bahan bakar udara dan gas dalam silinder selama satu siklus. (*Ref No. 5, hal 8*)

Pemahaman tentang apa yang terjadi di dalam silinder motor diesel, terutama sehubungan dengan proses pembakaran, dapat sangat dibantu dengan penyajian secara grafis yang disebut diagram tekanan – volume atau diagram P-V, diagram ini dapat diperoleh dari penggambaran kembali diagram indikator. Dalam diagram tersebut jarak ordinat atau jarak vertikal menunjukkan tekanan gas dan absis atau jarak horizontal menunjukkan volume yang ditempati oleh gas yaitu volume kepala silinder dan torak pada saat itu.



Keterangan :

BDC : Bottom Dead Centre

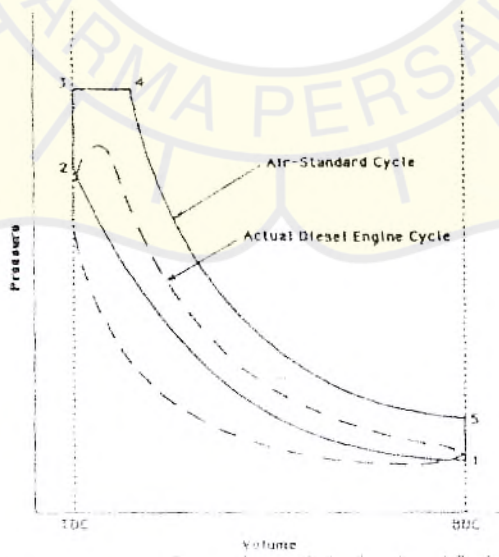
TDC : Top Dead Centre

SO : Scavenge ports Open 142,5 deg approx. ATDC

SC : Scavenge ports Close 142,5 deg approx BTDC

FVO : Fuel valve opens 4 deg approx BTDC

Gambar 2.3 Diagram Indikator Tekanan Silinder (Ref No. 4, hal 8)



Gambar 2.4 P-V Diagram (Ref. No. 9, hal 94)

Untuk menghitung Tekanan Indikatif Rata-rata dapat digunakan persamaan :

$$\bullet \quad imep \text{ (N/m}^2\text{)} = \frac{\text{indicated work output (Nm) per cylinder per mechanical cycle}}{\text{swept volume per cylinder (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\bullet \quad imep = \frac{W_{net}}{(V_1 - V_2)} = \frac{W_{net}}{V_{disp}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

imep = Tekanan Indikatif Rata-rata

Wnet = Kerja bersih putaran diesel

$$\bullet \quad W_{net} = m_{udara} + [c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3) - c_v(T_5 - T_1)] \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

mudara = massa udara di cylinder

$$\bullet \quad m_{udara} = \frac{V_1}{v_1} = \frac{V_1 P_1}{RT_1} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

R = konstanta gas udara

T = suhu

Cv, Cp = specific heat

(Ref. No. 4, hal II-1)

### 2.3.5 SPECIFIC FUEL OIL CONSUMPTION (SFOC)

Specific fuel oil consumption atau pemakaian bahan bakar spesifik didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dibutuhkan setiap jam untuk setiap satuan daya pada putaran tertentu. Hal-hal yang mempengaruhi SFOC diantaranya sebagai berikut :

- Pembebanan pada motor diesel
- Putaran motor diesel
- Kecepatan laju aliran bahan bakar
- Daya efektif dari motor diesel

SFOC dapat dihitung dengan persamaan :

$$SFOC = \frac{m_{BH}}{Ne} \times 3,6 \times 10^6 \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

SFOC = specific fuel oil consumption (g/kWh)

$m_{BB}$  = kecepatan aliran bahan bakar (kg/s)

$$m_{BB} = \zeta_{bb} \times V_{bb} / t_{bb} \dots\dots\dots (2.19)$$

$\zeta_{BB}$  = Kerapatan massa (kg/m<sup>3</sup>)

$V_{BB}$  = Volume bahan bakar (m<sup>3</sup>)

$N_e$  = Daya efektif (kW)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik biasanya terdapat di *engine envelope* dari manual book engine manufaktur. (gambar 2.8) (Buku Laboratorium Motor Kapal ITS)

### 2.3.6 KESEIMBANGAN ENERGI

Dalam motor bakar dalam terlihat, bahwa tidak semua nilai kalor hasil pembakaran dirubah menjadi kerja indikator, yang selanjutnya dirubah menjadi daya poros, setelah terjadi kerugian-kerugian gesekan pada : dinding silinder, bantalan-bantalan, roda gigi dan kerugian untuk menggerakkan pompa bahan bakar generator, pompa air, katup dan sebagainya. Dari grafik-grafik prestasi terlihat bahwa paling banyak 50% dari nilai kalor yang dirubah menjadi kerja indikator. Keseimbangan energi dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Kecepatan aliran energi bahan bakar: } J_{BB} = m_{BB} \times H_r \text{ (KJ/s)} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\text{Effisiensi efektif: } \eta_e = \left| \frac{N_e}{J_{BB}} \right|$$

Kecepatan aliran energi air pendingin :

$$\left| J_{AP} \right| = m_{AP} \times c_A \times (T_{APK} - T_{APM}) \text{ (KJ/s)} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

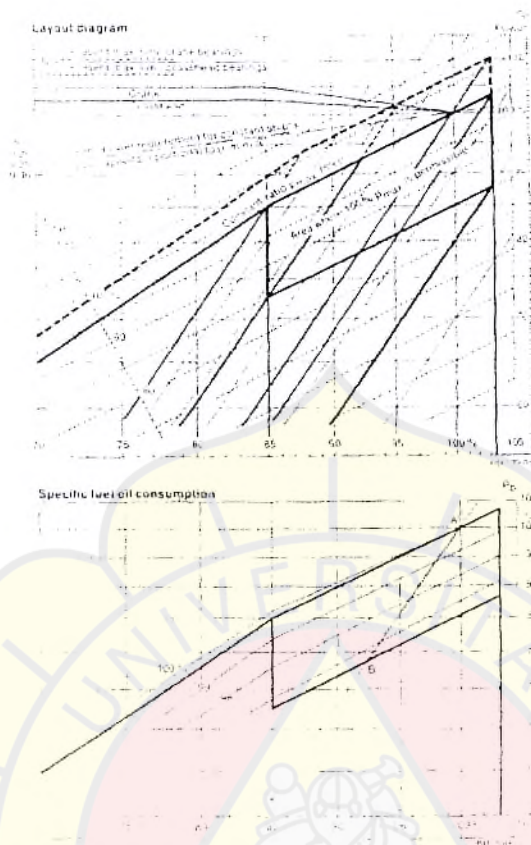
$m_{AP}$  : Kecepatan aliran air pendingin (Kg/s)

$c_A$  : 4,18 KJ/Kg<sup>o</sup>K (Ref. No. 4, hal II-1)

$T_{APK}$  : Suhu pengeluaran air pendingin (°K)

$T_{APM}$  : Suhu pemasukan air pendingin (°K)

(Ref. No. 4, hal II-1)



Gambar 2.5 Layout diagram yang menghubungkan SFOC dengan rating daya  
*(Ref. No. 5, hal 2.1)*

#### 2.4 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

Bahan bakar minyak merupakan senyawa organik yang dibutuhkan dalam suatu pembakaran dengan tujuan untuk mendapatkan energi (tenaga). Bahan bakar ini dihasilkan dari proses destilasi bertingkat, minyak diproses dari minyak mentah (crude oil) hingga menjadi fraksi-fraksi bahan bakar.

Bahan bakar dari hasil destilasi merupakan bahan bakar yang paling cocok digunakan pada motor diesel tanpa pemanasan awal (pre-heating), kecuali engine dalam keadaan dingin sekali.

Bahan bakar yang digunakan untuk diesel diantaranya adalah :

- **High Speed Diesel (HSD)**

HSD merupakan bahan bakar jenis destilat yang digunakan untuk motor "Compression Ignition" yang kualitas bahan bakarnya ditunjukkan

dengan angka cetane. Pada umumnya penggunaan (HSD) adalah untuk motor diesel dengan putaran tinggi, (HSD) mempunyai spesifikasi yang berbeda dengan (MDO).

- **Marine Diesel Oil (MDO)**

MDO merupakan bahan bakar jenis destilat yang mengandung fraksi – fraksi berat, merupakan campuran dari destilat fraksi ringan dan fraksi berat (residual fuel oil), berwarna hitam gelap, tetapi tetap cair pada suhu yang rendah. Penggunaan MDO pada umumnya untuk bahan bakar motor diesel dengan putaran sedang.

- **Marine Fuel Oil (MFO)**

Marine Fuel Oil atau disebut juga minyak bakar merupakan bahan bakar yang bukan jenis destilat tetapi merupakan jenis residu yang berwarna hitam gelap. HFO lebih banyak dikenal dari pada MDF dan mempunyai titik tuang (Pour Point) yang lebih tinggi dari MDF. Dari segi ekonomis lebih menguntungkan dari pada bahan bakar diesel jenis lain karena harganya relatif lebih murah.

Pada saat akan menggunakan bahan bakar minyak, perlu diketahui karakteristik dari masing-masing bahan bakar guna mencapai hasil yang optimum, karena sangat mempengaruhi proses pembakaran pada motor diesel

Karakteristik bahan bakar minyak secara umum adalah sebagai berikut :

- **Specific Gravity**

Merupakan suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Penggunaan specific gravity adalah untuk mengukur berat atau massa minyak bila volumenya telah diketahui. Pada umumnya bahan bakar minyak mempunyai specific gravity antara 0.74 s/d 0.96, dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan dari pada air. Specific gravity dinyatakan dengan satuan API (*American Petroleum Institute Gravity*)

$$API\ Gravity = \frac{141.5}{Specific\ Gravity(60/60^{\circ}F)} \times 131.5 \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

(Ref. No. 6, hal 3)

- **Viscosity**

Merupakan suatu angka yang menyatakan besarnya perlawanan dari suatu bahan cair untuk mengalir, makin tinggi nilai viskositasnya minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. Semakin tinggi angka viscositas suatu bahan bakar maka akan semakin kental bahan bakar tersebut sehingga makin sukar minyak tersebut untuk dapat mengalir, begitu juga sebaliknya.

Viscositas bahan bakar minyak sangat penting artinya bagi motor diesel karena Viscositas minyak berkaitan dengan konsumsi bahan bakar kedalam ruang bakar dan berpengaruh dalam proses pengkabutan (*atomizing*) di dalam injektor.

Viskositas bahan bakar dapat dicapai dengan mudah selama bahan bakar tersebut dipanaskan secukupnya pada tiap – tiap titik dalam sistem untuk dapat dipompa, diendapkan, disaring dan dilakukan proses pemisahan air dan selanjutnya pengkabutan (*atomizing*).

Kemampuan untuk mengalir pada suhu yang rendah merupakan suatu hal yang penting, karena apabila tidak terpenuhi maka ada kemungkinan jumlah bahan bakar yang mencapai injektor tidak akan cukup untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna.

Cara untuk mengukur besarnya viskositas tergantung dengan alat viskometer yang akan digunakan dan hasil yang akan di dapat. Metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan atau mengukur besarnya viskositas adalah sebagai berikut :

1. Redwood I diukur dalam satuan detik
2. Redwood II diukur dalam satuan detik
3. Saybolt Universal diukur dalam satuan detik
4. Engler diukur dalam satuan OE
5. Kinematik diukur dalam satuan Centistoke ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

- **Diesel Index**

Kualitas pembakaran dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan oleh Diesel Engine.

Diesel Index, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$DI = \frac{\text{anilinepoint}(^{\circ}F) \times API \text{ gravity}(60^{\circ}F)}{100} \dots\dots\dots (2.23)$$

(Ref. No. 3, hal 280)

- **Calorific Value**

Calorific Value adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas / nilai kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara / oksigen. Calorific Value bahan bakar minyak pada umumnya antara 18.300 s/d 19.800 BTU/lb. (Ref. No 3, hal 280)

Calorific Value berbanding terbalik terhadap berat jenis. Pada volume yang sama suatu minyak akan semakin besar berat jenisnya maka akan rendah nilai kalorinya, sebaliknya.

Pada kenyataannya berat jenis MDF lebih besar dari HSD akan tetapi Calorific Value MDF akan lebih kecil dari pada HSD. Calorific Value digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu motor dalam suatu periode, dinyatakan dalam satuan BTU/lb (satuan british).

- **Sulphur Content**

Pada dasarnya sebuah bahan bakar minyak mengandung sulfur dalam jumlah yang sangat kecil. Keberadaan sulfur ini tidak diharapkan karena mempunyai sifat merusak.

Hal ini karena selama proses pembakaran sulfur teroksidasi oleh oksigen menjadi belerang dioksida (SO<sub>2</sub>) dan belerang trioksida (SO<sub>3</sub>). Apabila terjadi kontak antara (SO<sub>2</sub>) maupun (SO<sub>3</sub>) dengan air maka akan dapat bersifat korosif terhadap logam-logam didalam ruang bakar dan sistem gas buang.

- **Pour Point**

Adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak hingga bahan bakar minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya grafitasi. Pour Point diperlukan sehubungan dengan persyaratan praktis dari prosedur penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak. Hal ini



dikarenakan bahan bakar minyak sering sulit untuk dipompa apabila suhunya dibawah pour point-nya.

- **Flash Point**

Adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Flash Point diperlukan sehubungan dengan pertimbangan keamanan (safety) dari penimbunan minyak terhadap bahaya kebakaran. Flash point mempunyai pengaruh besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk motor diesel maupun ketel uap.

- **Cetane Number**

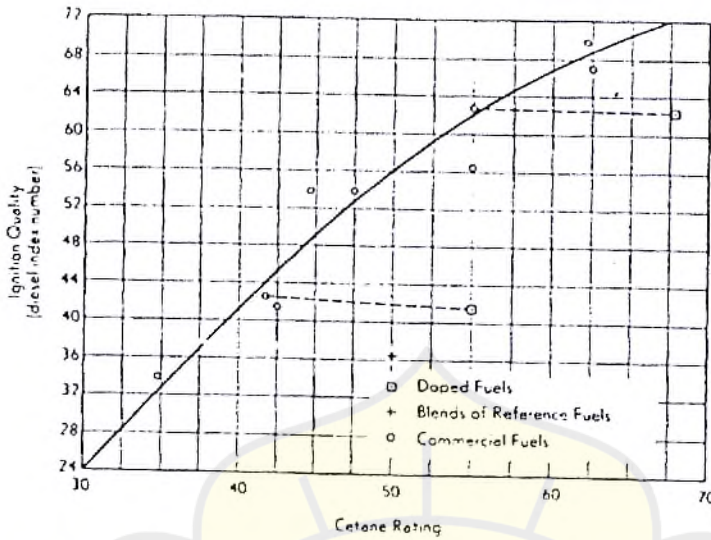
Angka Cetane adalah suatu angka yang menyatakan kualitas pembakaran dari bahan bakar motor diesel, yang diperlukan untuk mencegah terjadinya "Diesel Knock" atau suara pukulan didalam ruang bakar. Untuk motor diesel yang bekerja dalam putaran tinggi diperlukan bahan bakar dengan angka cetane yang tinggi, sebaliknya untuk motor diesel dengan putaran rendah diperlukan angka cetane yang rendah. Hubungan antara cetane rating dengan diesel index dapat digambarkan 2.6

- **Carbon Residu**

Pemeriksaan arang / kadar karbon pada minyak solar (HSD) maupun MDF diperlukan untuk menaksir kemungkinan terbentuknya arang / karbon pada proses pembakaran yang berasal dari bahan bakar minyak tersebut, karena hal ini dapat menyebabkan kerak arang pada injektor dari motor diesel.

- **Ash Content**

Ash content merupakan sisa – sisa dari minyak yang tertinggal, apabila suatu bahan bakar dibakar sampai habis. Ash content bisa berasal dari bahan bakar itu sendiri atau berasal dari kontak dengan sistem perpipaan.



Gambar 2.6 Hubungan Diesel Index dengan Cetane Rating  
(Ref. No 3, hal 281)

- **Zat Additive**

Adalah zat tambahan yang ditambahkan dalam bahan bakar motor diesel, mutu penyalaan bahan bakar dapat diperbaiki dengan jalan menaikkan angka cetane. Hal ini dapat dicapai dengan menambahkan zat additive ke dalam bahan bakar tersebut. Di dalam zat additive terdapat hidrokarbon yang lebih mudah terbakar, sehingga memudahkan bahan bakar untuk dapat terjadi proses pembakaran.

- **Heating Value**

Nilai Panas atau disebut juga panas pembakaran dan didefinisikan sebagai pembakaran bahan bakar dengan oksigen pada sebuah bomb.

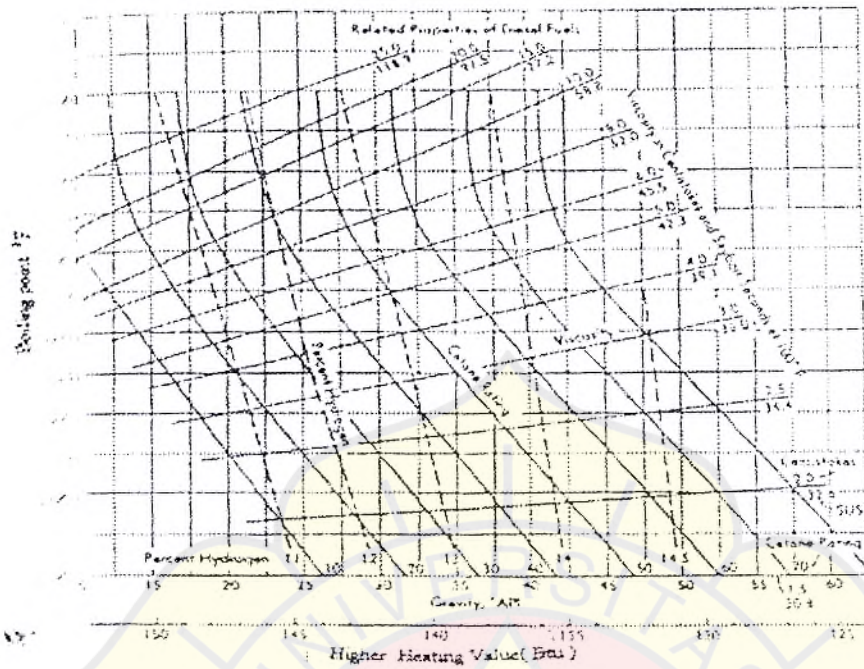
Nilai Panas atau Heating Value dibagi menjadi dua bagian : Higher Heating Value (HHV) dan Lower Heating Value (LHV). Heating Value dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{HHV} = 18,650 + 40 (\text{API}-10) \quad \text{Btu per lb untuk bahan bakar} \quad (2.24)$$

$$\text{HHV} = 18,440 + 40 (\text{API}-10) \quad \text{Btu per lb untuk kerosene}$$

$$\text{HHV} = 17,645 + 54 \text{ API} \quad \text{Btu per lb untuk heavy oil (HFO)}$$

(Ref. No. 3, hal 281)



Gambar 2.7 Grafik kolerasi berbagai karakteristik bahan bakar diesel  
(Ref. No. 3, hal 281)

**Spesifikasi MDF produksi Pertamina**

No	Properties	Limits		Test Methods		
		Min	Maks	ASTM	Lain	
1.	Specific Gravity at 60/60 F	0.840	0.920	D-1298		
2.	Viscosity Redwood 1/100 F	secs	35	45	D-445*	IP 70
3.	Pour Point	F	-	65	D-97	
4.	Sulphur Content	% wt	-	1.5	D-1551/	
5.	Conradson Carbon Residue	% wt	-	1.0	D-1552	
6.	Water Content	% wt	-	0.25	D-189	
7.	Sediment	% wt	-	0.02	D-95	
8.	Ash	% wt	-	0.02	D-473	
9.	Neutralization Value :				D-482	
10.	-Strong Acid Number	mg KOH/hr	-	Nil	D-974	
11.	Flash Point P.M.c.c	F	150	-	D-93	
	Color ASTM		6	-	D-1500	

### Spesifikasi HSD produksi Pertamina

No	Properties	Limits		Test Methods	
		Min	Maks	ASTM	Lain
1.	Specific Gravity at 60/60 F	0.82	0.87	D-1298	
2.	Viscosity Kinematis at 100 F CSt	16	5.8	D-445*	
3.	Pour Point C	-	65	D-97	
4.	Sulphur Content % wt	-	0.5	D-1551/	
5.	Conrasdson Carbon Residue % wt	-	1.0	D-1552	
6.	Copper Strip Corosion (3 hrs/50 C)	-	No 1	D-130	
7.	Carbon Residu (on 10% vol.bottom)	-	0.1	D-189	
8.	Water Content % wt	-	0.05	D-93	
9.	Sediment % wt	-	0.01	D-473	
10.	Ash Content % wt	-	0.01	D-482	
11.	Neutralization Value :				
	-Strong Acid Number mg KOH/hr	-	Nil		
	-Total Acid Number mg KOH/hr	-	0.6		
13.	Flash Point P.M.c.c F	150	-	D-93	
	Color ASTM	-	3.0	D-1500	
	Cetane Number	45	-	D-613	

\*] Konversi dari kinematic Viscosity

Tabel 2.1 Spesifikasi MDF dan HSD Pertamina  
(Surat Keputusan Dirjen Migas No.002/P/DM/ MIGAS/1979)

### TIPIKAL NILAI KALOR KOTOR HSD (GROSS CALORIFIC VALUE)

Jenis Bahan Bakar	Gross Calorific Value (btu/lb)
MDF	19.063
HSD	19.089

Tabel 2.2 Tipikal Nilai Kalor Kotor Antara HSD dengan MDF  
(Surat Keputusan Dirjen Migas No.002/P/DM/ MIGAS/1979)

## 2.4.1 HUBUNGAN PERFORMANCE ENGINE DENGAN KECEPATAN BERLAYAR

### 2.4.1.1 DAYA KAPAL

Daya Kapal merupakan daya yang dibutuhkan oleh kapal dari sistem penggerak kapal (*prime mover*) untuk mencapai kecepatan dinas (*sea speed*).

Daya kapal dapat dibagi menjadi :

- a. IHP (Indicated Horse Power)
- b. BHP (Brake Horse Power)
- c. SHP (Shaft Horse Power)
- d. DHP (Delivery Horse Power)
- e. EHP (Effective Horse Power)

Daya IHP dan BHP telah diterangkan pada subbab 2.2

Sedangkan daya SHP, DHP, dan EHP dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### a. SHP

SHP atau Shaft Horse Power merupakan daya yang dihasilkan setelah melalui sistem poros (*shaft*).

Berdasarkan hukum propeller (*propeller law*),

$N_s$  merupakan fungsi  $V^3$

$N_s$  merupakan fungsi  $\text{rpm}^3$

$T$  fungsi  $\text{rpm}^2$

$P$  fungsi  $\text{rpm}^2$

Keterangan :

$V$  = kecepatan kapal (knots)

$T$  = Torsi, (kg.m) atau (lb.ft)

$$T = P \times r \dots\dots\dots (2.25)$$

$p_e$  = tekanan efektif rata-rata, (kgf/cm<sup>2</sup>) atau (lbf/in<sup>2</sup>)

$r$  = diameter crank (m) atau (ft)

Jika propeller slip diasumsikan konstan, maka :

$$N_s = \text{SHP} = K V^3$$

Dimana :

$K$  = konstanta dari  $N_s$

R = set kondisi

Tetapi R proporsional dengan V untuk konstan slip

$$N_s = K_1 R^3$$

Tetapi

$$N_s = SHP = \frac{p \times A \times c \times r \times 2\pi \times R}{33000} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

A = luasan piston (cm<sup>2</sup>) atau (in<sup>2</sup>)

c = 0,5 untuk 2 langkah

c = 0,25 untuk 4 langkah

(Ref No. 5 hal 5)

**b. DHP**

DHP atau Delivered Horse Power merupakan tenaga yang ditransmisikan ke propeller.

$$N_d = N_s \times \eta_s \times \eta_b = DHP \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan :

N<sub>d</sub> = Delivered Horse Power (HP)

N<sub>s</sub> = Shaft Horse Power (HP)

η<sub>s</sub> = stern tube efficiency

η<sub>b</sub> = line bearing efficiency

(Ref No. 2, hal 15)

SUMBER	ITEM	VALUES
SNAME T&R	Thrust Bearing	0,5 %
	Single red. gears	1,5 %
	Double red. gears	2,5 %
	Reversing gear	1 %
PNA Bab 7	η <sub>s</sub> , η <sub>B</sub> Machinery aft	2 %
	η <sub>s</sub> , η <sub>B</sub> Machinery amidship	3 %
Marine Eng	Double red. gears	1,5 – 2 %

Tabel 2.2 Nilai tipikal η<sub>s</sub>, η<sub>b</sub>, η<sub>G</sub> (Ref No. 2, hal 15)

**c. EHP**

EHP atau Effective Horse Power merupakan tenaga yang dibutuhkan untuk menjalankan badan kapal tanpa propeller.

$$N_e = R_t V / 550 = \text{EHP} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan :

$R_t$  = Tahanan total (HP)

$V$  = Kecepatan kapal (ft/s)

**d. THP**

THP atau Thrust Horse Power merupakan tenaga yang dihasilkan propeller ke air.

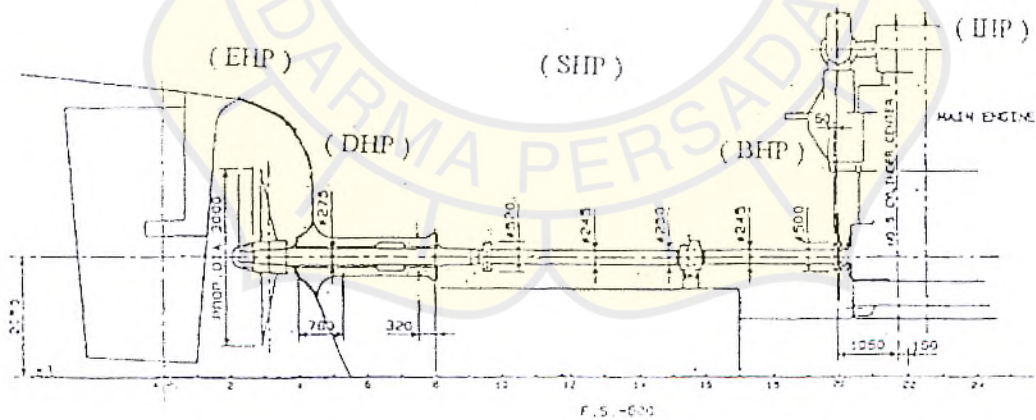
$$N_t = \text{THP} = \frac{T V_a}{326} = \frac{K_t \rho D^4 n^2 V_a}{326} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Keterangan :

THP = Thrust propeller (HP)

$V_a$  = Speed of advance (knots)

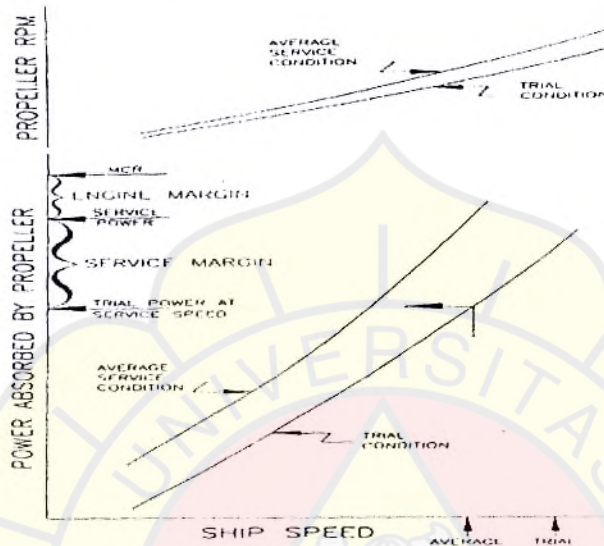
Secara visual dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.8 Jenis Daya Kapal (Ref No. 2, hal 11)

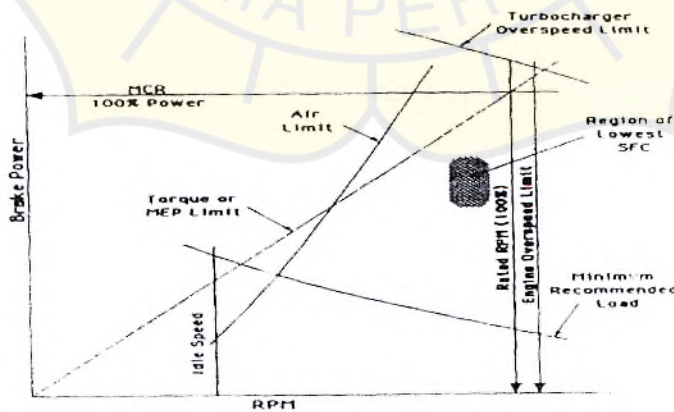
### 2.4.1.2 Kecepatan Kapal dengan Engine Performance

Hubungan rpm FPP (fixed pitch propeller) terhadap kecepatan kapal pada draft dan trim telah diilustrasikan pada gambar 2.9 Kecepatan rata-rata yang ditampilkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Kurva Speed-Power (*Ref. No. 9, hal 111*)

Sebuah motor, secara normal, dibatasi oleh thermal yang diekspresikan sebagai batas MEP. MEP, sebagaimana halnya torsi, merupakan proporsional terhadap power yang dihasilkan dibagi dengan rpm. (gambar 2.13)



Gambar 2.10 Batas Engine Performance (*Ref. No. 9, hal 100*)