

3100001013067

**TUGAS AKHIR**  
**NE 1701**

**PEMILIHAN MOTOR DIESEL  
SEBAGAI  
PENGERAK UTAMA KM PALWO BUWONO  
1600 TEU'S CONTAINER VESSEL**

| PERPUSTAKAAN<br>ITS |               |
|---------------------|---------------|
| Tgl. Terima         | 17 - 7 - 2000 |
| Terima dari         | H             |
| No. Agenda Prp.     | 21 - 604      |



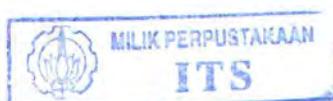
RSSp  
623.872 36  
Par  
P-1  
1999

Disusun Oleh :

**FERRY D.T. PARDEDE**

**NRP. 4291.100.020**

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1999



**PEMILIHAN MOTOR DIESEL  
SEBAGAI PENGERAK UTAMA KM PALWO BUWONO  
1600 TEU'S CONTAINER VESSEL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Pada  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I,**



Ir. Amiadji, MM., M.Sc.  
NIP. 131 792 513

**Dosen Pembimbing II,**



Ir. M. Orianto, BSE., M.Sc.  
NIP. 130 786 955

**S U R A B A Y A**  
**Februari, 1999**



JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**SURAT TUGAS**

Nama Mahasiswa : Ferry D.T Pardede  
Nrp : 42 91 100 020

Judul Tugas Akhir :  
Pemilihan Motor Diesel Sebagai Penggerak Utama  
KM Palwo Buwono 1600 TEU'S Container Vessel

Dosen Pembimbing:

1. Ir.Amiadji,MSc,MM
2. Ir.M.Orianto,BSE,MSc

Mahasiswa

Ferry D.T Pardede

Dosen Pembimbing I  
  
Ir. Amiadji, MSc, MM

NIP. 131 792 513

Dosen Pembimbing II  
  
Ir. M. Orianto, BSE, MSc

NIP. 130 786 955

Surabaya.....  
Ketua Jurusan

DR.Ir.A.A.Masrocri,MEng  
NIP 131 407 591

## ABSTRAK

Pemilihan motor diesel sebagai penggerak utama merupakan suatu proses yang sangat penting dalam perencanaan kapal. Untuk mengetahui berbagai kondisi operasional motor diesel penggerak kapal dilakukan proses matching.

KM Palwo Buwono menggunakan motor diesel MAN B&W 7 L 60 MC sebagai penggerak utama. Dengan memberikan dua buah alternatif pembanding bagi penggerak utama yang telah ada yakni: motor diesel Wartsila NSD 6 RTA 62 U dengan daya 13320 kW sebagai alternatif pertama dan penggunaan twin engine Wartsila NSD 5 RTA 48 T dengan daya 6800 kW sebagai alternatif kedua. Hasil matching dan perhitungan ekonomis serta peletakan motor diesel di dalam kamar mesin diberikan untuk mendapatkan gambaran yang cukup lengkap.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa alternatif pertama tidak dapat mencapai kecepatan service yang diinginkan yakni 19,1 knot. Sehingga dilakukan pemilihan propeller pengganti. Alternatif kedua membutuhkan ruang kamar mesin yang lebih luas dikarenakan adanya penambahan gear box dan dimensi total dari kedua motor diesel yang besar. Aspek ekonomis menunjukkan alternatif pertama lebih ekonomis dibanding penggerak yang telah ada.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Atas selesainya penulisan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir.Amiadji,MM,MSc, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan saran dan bimbingan selama penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir.M.Orianto.BSE,MSc, selaku dosen pembimbing yang juga dengan sabar memberikan saran dan bimbingan selama penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir.Indrajaya Gerianto, MSc selaku dosen wali.
4. Bapak Ir.Muryadin dari LHI BPPT Surabaya.
5. Seluruh staff ManPro Palwo Buwono 1600 TEU'S PT PAL Surabaya.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
7. Rekan-rekan angkatan 91, terus berjuang.

8. Bapak, Mama, Indra dan Lina serta seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

9. Semua pihak yang tidak dapat penulis tulis satu per satu.

Akhirnya penulis berharap makalah tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya. Tak menutup mata terhadap berbagai kekurangan pada makalah ini saran dan kritik sangat diharapkan.

Surabaya, 8 Pebruari 1999

Penulis

## **DAFTAR ISI**

Lembar Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi

### **BAB I . PENDAHULUAN**

|                        |   |
|------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang     | 1 |
| 1.2 Permasalahan       | 7 |
| 1.3 Tujuan Tugas Akhir | 8 |
| 1.4 Metode Penulisan   | 9 |

### **BAB II . DASAR TEORI**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Sistem Penggerak Utama                                | 11 |
| 2.2 Container Ship  | 13 |
| 2.3 Motor Diesel  | 14 |
| 2.4 Pertimbangan dalam Pemilihan Motor Diesel             | 18 |
| 2.4.1 SFC   | 19 |
| 2.4.2 Daya Motor  | 20 |
| 2.4.3 Berat Motor   | 22 |
| 2.4.4 Dimensi Motor dan Kebutuhan Ruangan                 | 23 |
| 2.4.5 Konfigurasi Sistem Penggerak                        | 25 |
| 2.4.6 Reversing Capability                                | 26 |
| 2.4.7 Sistem Permesinan Bantu Pendukung Kerja Motor Induk | 26 |
| 2.4.8 Reduction Gear dan Intermediate Shaft               | 27 |
| 2.5 Matching Diesel Engine Propeller                      |    |
| 2.5.1 Definisi  | 27 |
| 2.5.2 Propeller   | 30 |
| 2.5.3 Interaksi Kapal-Propeller                           | 32 |
| 2.5.4 Interaksi Kapal, Propeller dan Motor Induk          | 34 |
| 2.6 Reduction Gear  | 39 |
| 2.7 Poros Transmisi                                       | 40 |

### **BAB III . K M PALWO BUWONO**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 3.1 Ukuran Utama KM Palwo Buwono | 42 |
| 3.2 Main Engine                  | 43 |



|  |     |
|--|-----|
| 3.3 Matching Engine Propeller                                    | 45  |
| 3.3.1 Propeller open Water Test                                  | 46  |
| 3.3.2 Karakteristik Tahanan Kapal                                | 47  |
| 3.3.3 Korelasi Tahanan Kapal dan Karakteristik Propeller         | 48  |
| 3.4 Konsumsi Bahan Bakar   | 58  |
| 3.5 Peletakkan Motor Induk di dalam Kamar Mesin                  | 60  |
| <br>BAB IV . ALTERNATIF WARTSILA NSD RTA 62 U                    |     |
| 4.1 Main Engine  | 64  |
| 4.2 Matching Engine Propeller                                    | 65  |
| 4.3 Konsumsi Bahan Bakar   | 81  |
| 4.4 Peletakkan Motor Induk di dalam Kamar Mesin                  | 85  |
| <br>BAB V . ALTERNATIF WARTSILA NSD RTA 48 T                     |     |
| 5.1 Main Engine  | 89  |
| 5.2 Matching Engine Propeller                                    | 91  |
| 5.3 Matching Engine Propeller untuk Penggunaan Satu Engine       | 98  |
| 5.4 Konsumsi Bahan Bakar   | 100 |
| 5.4 Peletakkan Motor Induk di dalam Kamar Mesin                  | 104 |
| <br>BAB VI . PERBANDINGAN SPESIFIKASI MOTOR DAN ANALISA EKONOMIS |     |
| 6.1 Perbandingan Spesifikasi Motor                               | 108 |
| 6.2 Analisa Ekonomis   | 109 |
| <br>BAB VII . KESIMPULAN DAN SARAN                               |     |
| 7.1 Kesimpulan   | 112 |
| 7.2 Saran  | 113 |
| <br>Daftar Pustaka   |     |
| Lampiran   |     |

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perencanaan sebuah kapal dimulai dari design konsep, design awal, design kontrak hingga design detail<sup>1</sup>. Pembangunan kapal meliputi pembangunan bangunan kapal dan permesinan kapal. Salah satu hal yang penting dalam perencanaan sistem permesinan di kapal adalah perencanaan sistem penggerak kapal. Sistem penggerak kapal terdiri dari propulsor, sistem transmisi dan motor induk.

Perencanaan sistem penggerak utama sangatlah penting karena fungsinya sebagai jantung dari sistem di dalam kapal dan hubungannya yang sangat luas baik terhadap kapal maupun hubungannya dengan permesinan lain di dalam kapal hingga terhadap ukuran dari ruang mesin, berat muatan kapal, biaya operasional, harga kapal dan lain-lain.

Sebuah sistem penggerak utama direncanakan untuk memenuhi kebutuhan daya yang dibutuhkan sesuai dengan kondisi operasional kapal, kecepatan dinas, serta jarak jelajah. Ukuran dan berat dari sistem penggerak utama memiliki hubungan yang terkait dengan ukuran kapal, dimensi kapal, bentuk hull, displacement kapal yang telah ditentukan terlebih dahulu.



Dalam perencanaan kapal, berbagai konfigurasi sistem penggerak utama dengan daya yang sebanding, direncanakan dengan tujuan mendapatkan pengaruh yang ditimbulkan dari suatu sistem penggerak utama terhadap kebutuhan ruangan kamar mesin, kebutuhan tangki-tangki dan hubungannya dengan sistem permesinan pendukung motor induk dan sistem pelayanan umum di kapal. Dengan memperbandingkan berbagai konfigurasi sistem penggerak utama, diharapkan pilihan sistem penggerak utama yang digunakan merupakan pilihan yang paling optimal.

Container ship dikembangkan dengan kemampuan mengangkut muatan diatas geladak cuaca yang sangat baik, serta waktu bongkar muat yang singkat. Kemampuan ini haruslah diimbangi dengan kecepatan kapal yang memadai. Hal ini menimbulkan kebutuhan motor penggerak kapal dengan kebutuhan daya yang besar pula. Ukuran motor penggerak yang besar dan tuntutan kemampuan menyediakan ruangan yang besar bagi muatan merupakan alasan hingga container ship membutuhkan panjang kamar mesin yang sependek mungkin. Dengan alasan yang sama pula bangunan atas diletakkan diatas kamar mesin. Container yang diletakkan dibawah deck menyebabkan kerugian ruangan yang disebabkan oleh bentuk kapal dan block container, kerugian ini tidak dapat dihindari, sehingga kebutuhan ruangan dalam container ship adalah sebuah prioritas. Sehingga kapal jenis ini harus memiliki kamar mesin yang sekecil mungkin. Berkaitan dengan proses bongkar muat yang cepat pada container ship maka waktu bersandar kapal di pelabuhan menjadi pendek. Hal ini berpengaruh pada waktu yang tersedia bagi proses perawatan dan perbaikan kapal maupun sistem penggerak kapal.



Faktor lain yang berpengaruh dalam menentukan motor penggerak kapal yang digunakan, adalah kebutuhan auxiliary power yang tinggi pada container ship. Cargo yang diletakkan diatas deck menimbulkan permasalahan dengan angin, menimbulkan manuver yang kompleks bagi container ship, sehingga membutuhkan bow thruster yang baik. Demikian juga dengan kebutuhan refrigeration bagi refrigerated container, peralatan fin stabilizing untuk mengatasi gerak rolling dan pompa yang besar untuk compensation tanks yang dibutuhkan untuk mengatasi gerak rolling dan trimming yang terjadi pada saat proses bongkar muat yang cepat. Kesemuanya ini menyebabkan kebutuhan auxiliary power yang besar.

Tugas akhir ini diawali dengan adanya dugaan bahwa terdapat kemungkinan alternatif motor diesel lain yang dapat digunakan sebagai penggerak utama KM Palwo Buwono dengan SFOC yang lebih rendah dibandingkan dengan motor diesel yang ada sekarang. Konfigurasi dengan menggunakan dua motor diesel penggerak kapal diajukan sebagai salah satu alternatif dengan pertimbangan bahwa penggunaan diesel engine memerlukan initial cost dan operational cost yang lebih murah, hal ini dengan asumsi bahwa kapal akan digerakkan oleh dua motor diesel selama 80% jam pelayaran dan menggunakan satu motor diesel selama 20% jam pelayaran.

KM Palwo Buwono menggunakan sebuah motor diesel MAN B&W 7 L 60 MC dengan daya output sebesar 13440 kW. Pada kebutuhan daya 13440 kW terdapat tiga produsen motor diesel putaran rendah yaitu MAN B&W, Wartsila



NSD, dan Mitsubishi alasan penulis menampilkan Wartsila 6 RTA 62 U adalah pertimbangan tingkat SFOC yang lebih rendah dibandingkan dengan 7 L 60 MC, ketersediaan data dan keterbatasan waktu. Berikut ini adalah berbagai type dan merk motor diesel dengan daya sekitar 13440kW yang ada:

| Merk                         | Type                      | Cycle | Jumlah Silinder          | Rpm     | Daya (kW)   | SFOC (g/kWh) |
|------------------------------|---------------------------|-------|--------------------------|---------|-------------|--------------|
| Penggerak KM Palwo Buwono    | MAN B&W AG 48/60          | 4     | 12V-18V                  | 514     | 12600-18900 | 180          |
|                              | S 70 MC                   |       | 4-8L                     | 68-91   | 12420-24840 | 169          |
|                              | L 60 MC                   |       | 4-8L                     | 92-123  | 7680-15360  | 171          |
|                              | S 60 MC                   |       | 4-8L                     | 92-123  | 7680-15360  | 170          |
|                              | L 70 MC                   |       | 4-8L                     | 80-108  | 10480-20960 | 170          |
|                              | UEC 60LSII                |       | 4-8L                     | 100     | 4300-15890  | 166          |
|                              | UEC 75LSII                |       | 4-12L                    | 84      | 6300-35300  | 165          |
|                              | UEC 85LSII                |       | 5-12L                    | 76      | 9900-46340  | 163          |
|                              | SULTZER WARTSILA RTA 84 C |       | 4-12L                    | 73-102  | 8920-48600  | 169          |
|                              | RTA 72 U                  |       | 4-8L                     | 70-97   | 6560-23920  | 168          |
| Penggerak Alternatif Pertama | RTA 68 T                  | 2     | 4-8L                     | 92      | 8400-22000  | 169          |
|                              | RTA 62 U                  |       | 4-8L                     | 82-113  | 4880-17760  | 169          |
|                              | RTA 58 T                  |       | 5-8L                     | 82-103  | 6000-16000  | 170          |
|                              | W 46                      |       | 6V-18V                   | 450-514 | 5430-16290  | 170          |
|                              | NIIGATA MG46HX            |       | 6L,8L,9L,<br>12V,16V,18V | 450     | 4942-14827  |              |
| NIIGATA                      | PC4-2                     | 4     | 6L,8L,9L,<br>10V-18V     | 400     | 7281-21844  |              |
|                              | SEMT-PIELSTICK PC4.2-5    |       | 6L-9L,<br>10V-18V        | 429     | 7290-21870  |              |

Sumber "Directory of Marine Diesel Engines 1997, MER"

L = inline engine

V = v-line engine

Tabel 1-1 Motor diesel dengan daya output sekitar 13440 kW

Alternatif kedua yang menggunakan twin engine membutuhkan daya berkisar 6750 kW. Alasan penulis menampilkan Wartsila 5 RTA 48 T adalah pertimbangan tingkat SFOC yang sebanding, ketersediaan data dan keterbatasan waktu. Penulis menggunakan two stroke diesel engine dikarenakan tingkat SFOC yang rendah dan bahan bakar (HFO) yang murah dibandingkan dengan bahan bakar medium speed engine (MDO). Berikut ini adalah berbagai type dan merk motor diesel dengan daya s/d 6750 kW yang ada:



| Merk             | Type      | Cycle | Jumlah Silinder          | Rpm     | Daya (kW)  | SFOC (g/kWh) |
|------------------|-----------|-------|--------------------------|---------|------------|--------------|
| MITSUBISHI       | UEC 45LA  | 2     | 4-8L                     | 158     | 1910-7060  | 170          |
|                  | UEC 52LA  |       | 4-8L                     | 133     | 1910-7060  | 167          |
|                  | UEC52LS   |       | 4-8L                     | 120     | 2870-10590 | 167          |
|                  | UEC50LSII |       | 4-8L                     | 124     | 2980-12380 | 167          |
|                  | RTA48     |       | 4-9L                     | 111-154 | 2400-9810  | 169          |
|                  | RTA48T    |       | 5-8L                     | 99-124  | 4100-10880 | 171          |
|                  | RTA58U    |       | 5-8L                     | 98-135  | 3440-12480 | 173          |
|                  | RTA58T    |       | 5-8L                     | 82-103  | 6000-16000 | 170          |
| SULTZER WARTSILA | ZA50S     | 4     | 6,8,9L                   | 450     | 6480-10800 | 178          |
|                  | ZA40S     |       | 6,8,9L,12-18V            | 510     | 3600-12960 | 178          |
|                  | VASA 32   |       | 4,6,8,9L,<br>12,16,18V   | 720-750 | 1480-7380  | 187          |
|                  | W38       |       | 6,8,9L,<br>12,16,18V     | 600     | 3960-11880 | 177          |
|                  | W46       |       | 6,8,9L,<br>12,16,18V     | 450-514 | 5430-18900 | 170          |
|                  | L35MC     |       | 4-12L                    | 210-178 | 2600-7800  | 177          |
| MAN B&W          | S35MC     | 2     | 4-12L                    | 170-145 | 2800-8400  | 175          |
|                  | L42MC     |       | 4-12L                    | 176-132 | 3980-11940 | 177          |
|                  | S42MC     |       | 4-12L                    | 136-115 | 4100-12300 | 174          |
|                  | S46MC     |       | 4-8L                     | 129-108 | 5240-10480 | 174          |
|                  | L50MC     |       | 4-8L                     | 148-111 | 5320-10640 | 173          |
|                  | S50MC     |       | 4-8L                     | 127-95  | 5720-11440 | 171          |
|                  | AG32/40   |       | 12-18V                   | 750     | 5280-7920  | 181          |
|                  | AG48/60   |       | 6-9L                     | 514     | 6300-9450  | 181          |
| MAK              | M32       |       | 12,16V                   | 750     | 5760-7680  | 184          |
| NIIGATA          | MG46HX    | 4     | 6L,8L,9L,<br>12V,16V,18V | 450     | 4942-14827 |              |
|                  | MG32CX    |       | 6,8L,<br>12-18V          | 750     | 2206-6619  |              |
|                  | MG32CXI   |       | 12-18V                   | 750     | 6000-9000  |              |
|                  | MG41HX    |       | 6,8L,<br>12,16V          | 500     | 4192-11179 |              |
|                  | PC2-5     |       | 6,8,9L,<br>12-18V        | 520     | 2868-8605  |              |
|                  | PC2-6     |       | 6,8,9L,<br>12-18V        | 520     | 3309-9929  |              |

Sumber "Directory of Marine Diesel Engines 1997, MER"

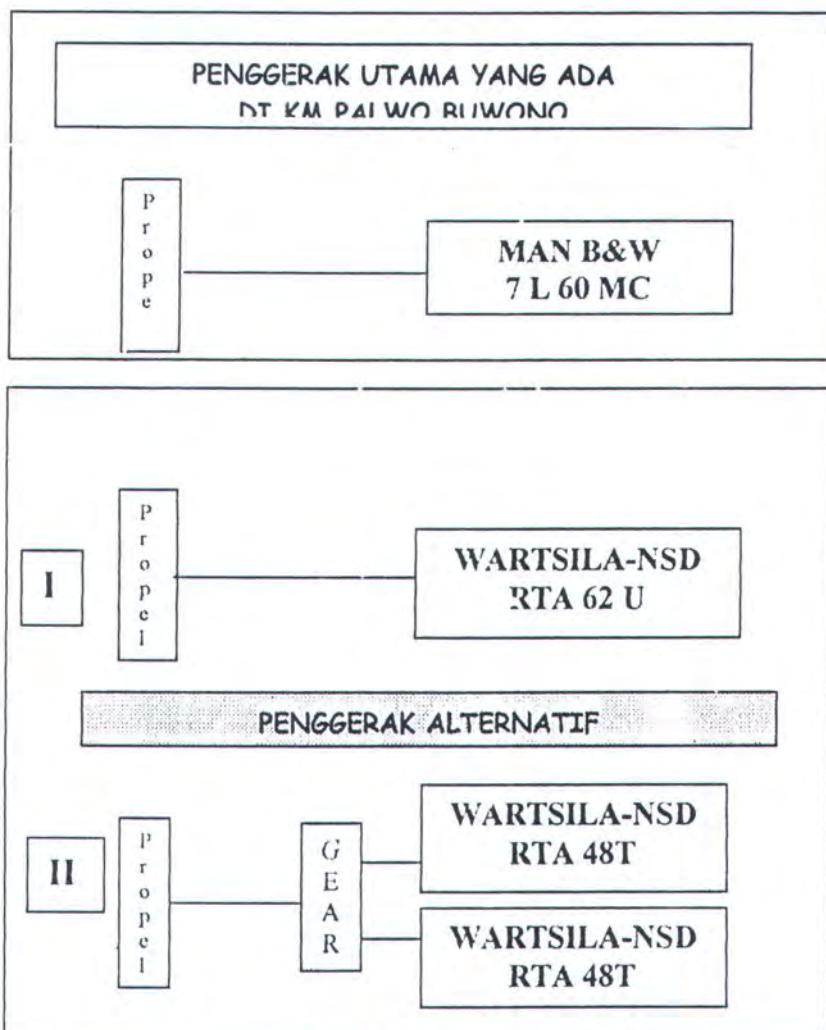
L = inline engine

V = v-line engine

Tabel 1-2 Motor diesel dengan daya sekitar 6750 kW



Pada tugas akhir ini penulis akan membandingkan sistem penggerak kapal yang ada di KM Palwo Buwono dengan sistem penggerak alternatif, sebuah motor diesel dua langkah Wartsila-NSD RTA 62 U dan dua buah motor diesel Wartsila-NSD RTA-48T.



Gambar 1-1 Penggerak awal dan penggerak alternatif



## 1.2 Permasalahan

Objek penelitian tugas akhir ini adalah KM. Palwo Buwono 1600 TEU 26200 DWT dengan ukuran utama sbb:

- Loa = 177.35 m
- Lpp = 167.74 m
- Breadth (mould) = 27.50 m
- Depth to main deck = 14.30 m
- Draught = 9.70 m
- Dead Weight = 26.200 Ton
- Gross Tonnage = maks 18.000 GT
- Kecepatan dinas kapal penuh pada sarat air maksimum (design) pada 90% MCR dengan 15% sea margin adalah minimum 19.1 knot
- Jarak jelajah tidak kurang dari 14.400 mil laut pada kecepatan dinas 19.1 knot.

Main Engine :

- Merk = MAN-B&W
- Type = 7 L60 MC
- MCR = 13.440 kW
- RPM engine = 123 rpm pada MCR

Permasalahan yang dihadapi adalah memperbandingkan dua konfigurasi lain yang dapat digunakan sebagai sistem penggerak utama yakni: pertama sebuah motor diesel dua langkah Wartsila-NSD RTA 62 U dan kedua adalah menggunakan dua buah motor diesel Wartsila-NSD RTA 48 T. Hasil perencanaan



yang didapatkan dari kedua konfigurasi tersebut akan dibandingkan dengan sistem penggerak yang sekarang terpasang di kapal.

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut:

- 1) Kapal menggunakan satu propeller (single screw), konfigurasi lain dengan menggunakan dua buah propeller diluar tugas akhir ini.
- 2) Propeller yang digunakan adalah fixed pitch propeller.
- 3) Pelepasan poros propeller dilakukan ke dalam kamar mesin (inboard).
- 4) Tidak melakukan perencanaan komponen lain pada poros seperti bantalan, kopling dan pasak.
- 5) Motor diesel yang digunakan adalah motor diesel dua langkah dengan putaran rendah (0–300 rpm).
- 6) Sistem perpipaan diluar jangkauan tugas akhir ini.
- 7) Letak kamar mesin dibagian belakang kapal.
- 8) Ukuran dan data kapal menggunakan data kapal KM. Palwo Buwono 1600 TEU'S 26200 DWT.

### 1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mendapatkan alternatif lain motor diesel penggerak utama selain motor diesel penggerak utama yang sudah ada pada K.M Palwo Buwono 1600 TEU'S 26200 DWT Full Container.



2. Membandingkan masing-masing alternatif dengan sistem penggerak yang sudah ada, ditinjau dari aspek teknis dan ekonomis.

#### 1.4 Metode Penulisan

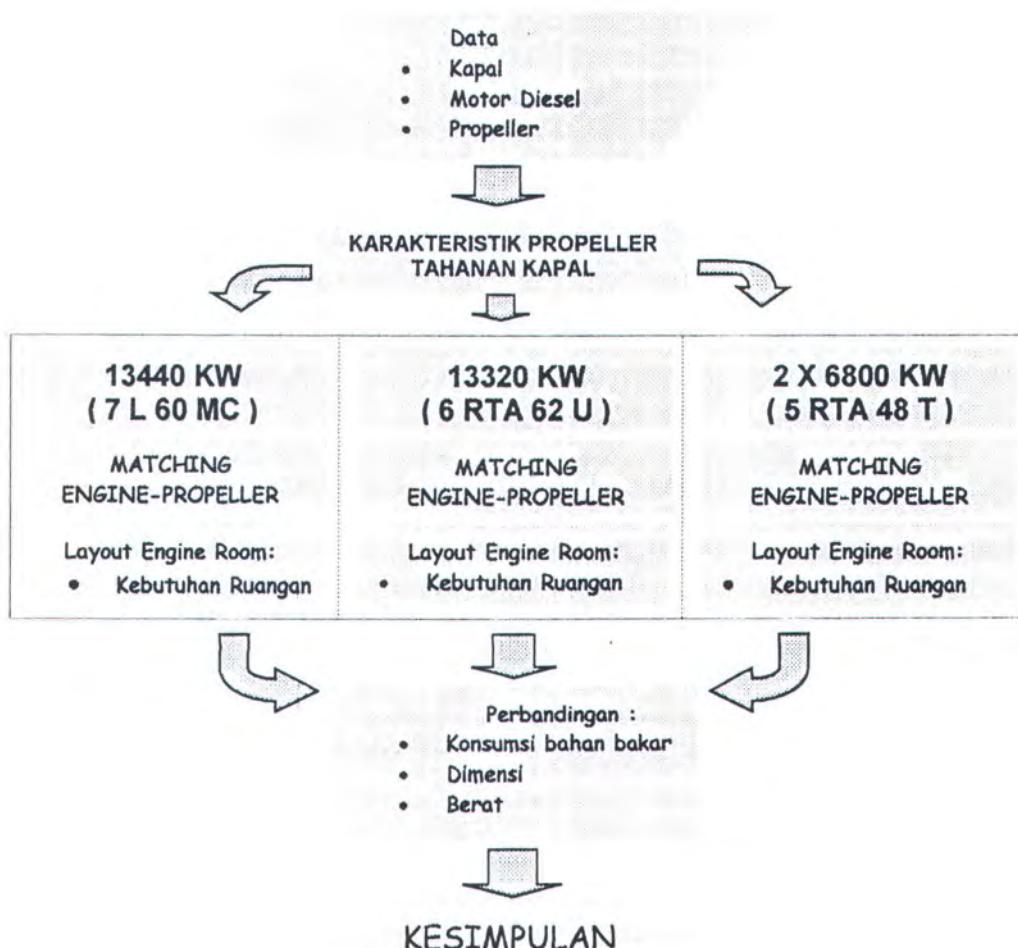
Metode penulisan tugas akhir ini adalah:

- Studi literatur di perpustakaan kampus ITS Surabaya
- Studi literatur di perpustakaan PT. PAL Indonesia (persero)
- Studi lapangan di PT. PAL Indonesia (persero)
- Studi literatur di UPT LHI BPPT
- Sumber-sumber pustaka lain.





Metode pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1-2 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir



## **BAB II**

### **DASAR TEORI**



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Sistem Penggerak Utama

Fungsi utama dari sistem penggerak kapal adalah memberikan gaya dorong kepada kapal, agar kapal dapat bergerak sesuai dengan kecepatan service dan jarak jelajah yang sudah direncanakan, selain itu juga harus mempunyai kemampuan agar kapal dapat bergerak maju, mundur dan melakukan manuver.

Sistem propulsi utama terdiri dari:

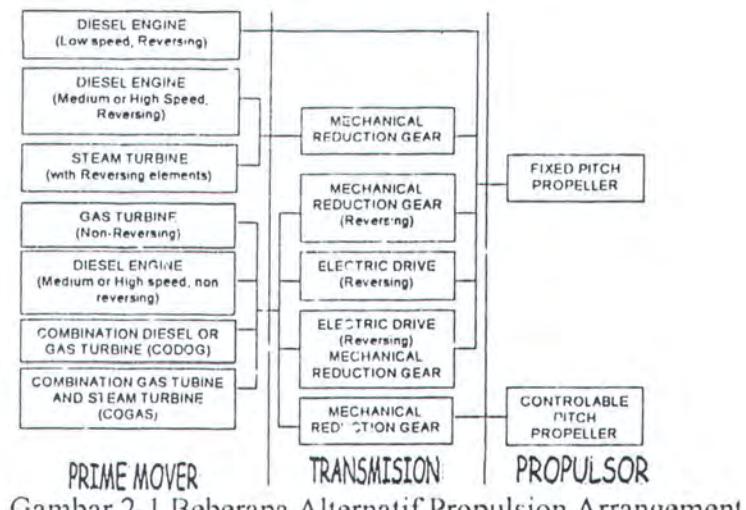
- Sistem propeller
- Penggerak utama (prime mover)
- Reduction gear

Motor atau alat penggerak kapal bermacam-macam antara lain: turbin uap (steam turbine), turbin gas, water jet, motor diesel dan lain sebagainya. Seringkali dalam perencanaan, untuk mendapatkan hasil yang optimal digunakan kombinasi dari dua jenis penggerak kapal, seperti misalnya kombinasi diesel dan gas turbin (CODAC). Sistem propulsi yang paling umum digunakan adalah propeller atau baling-baling. Propeller mengubah daya yang diberikan oleh motor induk menjadi daya yang berguna untuk mendorong kapal. Propeller dapat dibedakan menjadi dua macam yakni Fixed Pitch Propeller (FPP) dan Controlable Pitch Propeller



(CPP). FPP adalah propeller yang memiliki pitch propeller tetap, sedang CPP adalah propeller yang memiliki pitch propeller yang dapat dikontrol.

Reduction gear biasanya diperlukan pada sistem penggerak kapal dengan putaran menengah dan tinggi. Sistem penggerak utama merupakan kombinasi dari jenis-jenis komponen sistem penggerak di atas. Alternatif-alternatif sistem penggerak utama yang dapat digunakan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2-1 Beberapa Alternatif Propulsion Arrangement

Dari gambar 2-1 terlihat bahwa untuk penggerak utama yang memiliki putaran menengah dan tinggi, memerlukan sistem transmisi reduction gear. Pada sistem penggerak utama yang tidak memiliki kemampuan untuk membalik putaran maka perlu ditambah dengan reversing gear ( gear pembalik putaran ).

Pertimbangan utama yang dibutuhkan dalam memilih sistem penggerak kapal adalah : jenis dari kapal, kecepatan kapal, daya yang dibutuhkan untuk memenuhi kecepatan kapal yang direncanakan, dan kebutuhan ruang untuk kamar mesin.



Hingga saat ini jenis motor penggerak kapal yang paling banyak digunakan.

## 2.2 Container Ship

Container ship dikembangkan dengan kemampuan mengangkut muatan yang sangat tinggi diatas geladak cuaca serta waktu bongkar muat yang singkat. Kemampuan ini haruslah diimbangi dengan kecepatan kapal yang memadai. Hal ini menimbulkan kebutuhan motor penggerak kapal dengan kebutuhan daya yang besar pula. Ukuran motor penggerak yang besar dan tuntutan kemampuan menyediakan ruangan yang besar bagi muatan merupakan alasan hingga container ship membutuhkan panjang kamar mesin yang sependek mungkin. Dengan alasan yang sama pula bangunan atas diletakkan diatas kamar mesin. Container yang diletakkan dibawah deck menyebabkan kerugian ruangan yang disebabkan oleh bentuk badan kapal dan block container, kerugian ini tidak dapat dihindari, sehingga kebutuhan ruangan dalam container ship adalah sebuah prioritas. Sehingga kapal jenis ini harus memiliki kamar mesin yang sekecil mungkin.

Berkaitan dengan proses bongkar muat yang cepat pada container ship maka waktu bersandar kapal di pelabuhan menjadi pendek. Hal ini berpengaruh pada waktu yang tersedia bagi proses perawatan dan perbaikan kapal maupun sistem penggerak kapal.

Faktor lain yang berpengaruh dalam menentukan motor penggerak kapal yang digunakan, adalah kebutuhan auxiliary power yang tinggi pada container



ship. Cargo yang diletakkan diatas deck menimbulkan permasalahan dengan angin ( sebagai hambatan dan gangguan stabilitas) sehingga menimbulkan manuver yang kompleks bagi container ship, sehingga membutuhkan bow thruster yang baik. Demikian juga dengan kebutuhan refrigeration bagi refrigerated container, peralatan fin stabilizing untuk mengatasi gerak rolling dan pompa yang besar untuk compensation tanks yang dibutuhkan untuk mengatasi gerak rolling dan trimming yang terjadi pada saat proses bongkar muat yang cepat menyebabkan kebutuhan auxiliary power yang besar.

### 2.3 Motor Diesel

Motor diesel adalah jenis motor bakar dalam penyalaan kompresi (compression-ignition), dimana bahan bakar dinyalakan dengan menginjeksi bahan bakar ke dalam udara panas bertekanan tinggi dalam ruang pembakaran.

Karakteristik utama motor diesel yang membedakannya dari motor bakar yang lain adalah metode penyalaan bahan bakar. Dalam motor diesel bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara bertekanan tinggi. Disebabkan oleh proses kompresi udara dalam silinder, maka tekanan dan temperatur udara didalam silinder meningkat, sehingga ketika bahan bakar dalam bentuk kabut halus bersinggungan dengan udara panas bertekanan tinggi ini, bahan bakar akan menyala dengan sendirinya (tidak dibutuhkan alat penyalaan lain dari luar). Karena itulah motor diesel juga disebut motor penyalaan kompresi.





Motor diesel juga mempunyai efisiensi panas yang tinggi dan penggunaan bahan bakar yang relatif lebih hemat dan murah. Motor diesel dapat diklasifikasikan menurut daur kerja (working cycle), putaran kerja (rpm) dan design umum.

Menurut daur kerja motor diesel dapat dibagi menjadi dua yaitu motor diesel empat langkah (four stroke diesel engine) dan motor diesel dua langkah (two stroke diesel engine). Dalam motor diesel empat langkah, satu langkah daya dihasilkan dari empat kali langkah torak atau dua kali putaran poros engkol. Langkah-langkah ideal bagi motor diesel empat langkah adalah sebagai berikut: langkah pengisapan (suction stroke), langkah kompresi (compression stroke), langkah tenaga (power stroke), dan langkah pengeluaran (exhaust stroke).

Sedangkan pada motor diesel dua langkah satu langkah daya dihasilkan oleh dua langkah torak atau satu putaran poros engkol. Dalam motor diesel dua langkah, silinder dibilas dan diisi dengan udara segar yang diberikan oleh udara bertekanan pada crankcase atau penghembus dari luar (misalnya blower).

Jadi perbedaan utama antara motor diesel dua langkah dan motor diesel empat langkah adalah metode pengeluaran gas yang telah terbakar dan pengisian silinder dengan udara segar. Motor diesel empat langkah sendiri dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu motor diesel penghisap alamiah dan motor diesel pengisian lanjut (supercharged).

Pada motor diesel jenis penghisapan alamiah pengisian udara segar ditarik masuk oleh tekanan vakum yang dihasilkan ketika torak begerak menjauhi ruang



pembakaran, sedang pada motor diesel pengisian lanjut, udara dimasukkan kedalam silinder pada tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer. Tekanan udara tinggi ini dihasilkan oleh kompresor atau penghembus yang mirip dengan yang digunakan dalam motor diesel dua langkah.

Perbedaan lain antara motor diesel empat langkah dan motor diesel dua langkah adalah:

- Motor diesel dua langkah menghasilkan daya per piston area (10-15%) lebih besar dibandingkan motor diesel empat langkah.
- Pada motor diesel dua langkah bahan bakar mengalami penyalaan pada tekanan yang lebih rendah dibandingkan motor diesel empat langkah
- Motor diesel dua langkah memiliki specific weight yang lebih kecil dibandingkan motor diesel empat langkah.
- Motor diesel dua langkah umumnya untuk motor putaran rendah sedang motor diesel empat langkah untuk motor putaran sedang dan tinggi.
- Motor diesel dua langkah umumnya untuk keperluan daya yang besar sedang motor diesel empat langkah untuk keperluan daya yang lebih kecil.
- Motor diesel dua langkah memiliki dimensi yang lebih panjang dan tinggi dibandingkan dengan motor diesel empat langkah.
- Pemakaian bahan bakar pada motor dua langkah lebih boros dibandingkan dengan motor diesel empat langkah.
- Konstruksi motor diesel dua langkah lebih sederhana dibandingkan dengan motor diesel empat langkah.



- Suhu torak dan dinding silinder pada motor diesel dua langkah lebih tinggi dibandingkan dengan motor diesel empat langkah, sehingga material untuk torak dan silinder pada motor dua langkah lebih kuat dibandingkan dengan motor diesel empat langkah.

Motor diesel menurut putaran kerja dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Motor diesel putaran rendah dengan putaran hingga 300 rpm
- Motor diesel putaran menengah dengan putaran antara 300 – 900 rpm
- Motor diesel putaran tinggi dengan putaran mulai 900 rpm ke atas.

Motor diesel dengan daya besar biasanya didesign pada putaran kerja rendah sedang motor diesel dengan putaran menengah dan tinggi didesign untuk motor diesel dengan daya menengah dan kecil.

Jenis-jenis motor diesel menurut design umum adalah: Silinder satu garis (inline engine). Ini merupakan pengaturan silinder yang paling sederhana, dengan semua silinder sejajar, satu garis. Konstruksi ini biasa digunakan untuk motor yang mempunyai jumlah silinder sampai delapan. Motor satu garis biasanya mempunyai silinder vertikal. Pengaturan V dengan dua batang engkol yang dipasangkan pada pena engkol masing-masing memungkinkan panjang motor dipotong setengahnya sehingga lebih tegar dengan poros engkol lebih kaku. Motor radial, mempunyai silinder yang semuanya terletak pada suatu bidang dengan garis tengahnya berada pada sudut yang sama dan hanya ada satu engkol untuk





memasang semua batang engkol. Motor jenis ini dibangun dengan lima, tujuh, sembilan dan sebelas silinder.

#### 2.4 Pertimbangan Dalam Pemilihan Motor Diesel di Kapal

Dalam merencanakan motor diesel sebagai alat penggerak di kapal maka hal-hal yang perlu untuk dijadikan pertimbangan adalah:

- Daya motor
- Berat motor
- SFC
- Dimensi
- Bentuk dan konstruksi hull
- Konfigurasi sistem penggerak
- Reversing capability
- Sistem permesinan bantu pendukung motor induk
- Sistem transmisi
- Engine Endurance, Maintenance, Repairing dan Insurance
- Harga motor diesel



## 2.4.1 Specific Fuel Consumption ( SFC )

Specific fuel consumption adalah konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh motor penggerak kapal persatuan daya per satuan waktu. Besarnya SFC sangat mempengaruhi biaya operasional kapal sehingga seringkali merupakan pertimbangan utama dalam memilih engine dalam power output yang sama.

Kebutuhan daya yang besar dan jarak jelajah yang tinggi pada container ship menimbulkan kebutuhan bahan bakar yang tinggi. Sehingga pertimbangan konsumsi bahan bakar dari motor diesel penggerak kapal yang digunakan merupakan faktor yang penting dalam merencanakan optimum economical ship. SFC yang tinggi menyebabkan kebutuhan tangki penyimpan bahan bakar yang besar sehingga akan menimbulkan peningkatan kebutuhan berat kapal. Sebagian DWT yang digunakan untuk bahan bakar akan menimbulkan kerugian muatan bersih dari kapal. Dalam banyak penelitian kerugian ini akan semakin besar apabila diukur selama umur kapal tersebut beroperasi.

Pada tugas akhir ini penulis menempatkan SFC motor penggerak utama sebagai pertimbangan awal penentuan jenis motor penggerak utama yang direncanakan akan sebagai pembanding motor penggerak utama kapal yang telah digunakan. Secara umum bahan bakar minyak dengan viskositas yang tinggi misalnya HFO memiliki harga yang lebih murah, namun memerlukan dukungan sistem bahan bakar yang lebih rumit dibandingkan dengan bahan bakar minyak dengan viskositas lebih rendah. Setiap jenis motor penggerak kapal mempunyai



Sedangkan karakteristik dari motor yang harus diketahui adalah daerah kerja dari motor, baik itu daerah kerja dari daya maupun putaran motor. Selisih antara BHP motor pada kondisi MCR dan SCR disebut dengan engine margin. Harga engine margin ini biasanya berkisar 10-15% dari kondisi SCR. Pada kondisi operasional terdapat pertimbangan kondisi cuaca dan perairan. Sesuai perencanaan awal maka kondisi SCR ditentukan pada 90% dari MCR.

$$BHP_{SCR} = 0.9 \times BHP_{MCR}$$

$$EHP = Rf \times V_{ship}$$

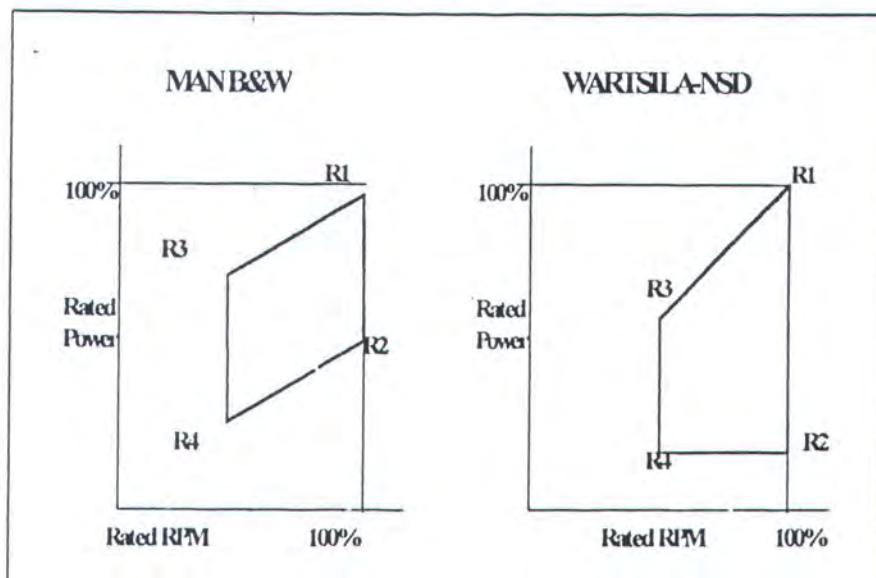
$$BHP_{SCR} = \frac{EHP}{Efisiensi\ Propeller \times Efisiensi\ Transmisi \times Efisiensi\ Hull}$$

- $BHP_{MCR}$  = BHP pada kondisi maximum continuous rating
- $BHP_{SCR}$  = BHP pada kondisi service continuous rating

Perbedaan antara daya yang dibutuhkan dalam cuaca tenang dan cuaca buruk disebut sebagai sea margin, besarnya sea margin biasanya ditentukan oleh pihak galangan dan atau bersama pemilik kapal. Pada kapal-kapal modern yang umumnya menggunakan anti-fouling paints maka penambahan tahanan kapal pada pemakaian selama bertahun-tahun yang disebabkan oleh pengotoran hull telah relatif dapat diatasi, namun demikian sea margin tetap diberikan dengan angka berkisar 10-15%. Pada karakteristik dari motor diesel terdapat batas-batas daerah kerja dari motor yang biasanya disebut sebagai engine envelope. Agar motor dapat memenuhi daya yang direncanakan untuk kapal, maka putaran dan daya yang dibutuhkan oleh propeller haruslah berada dalam batas-batas daerah



kerja dari motor atau berada dalam engine layout. Gambar 2-3 menunjukkan contoh dari suatu engine layout.



Gambar 2-3 Engine Envelope

Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka dalam penilaian motor harus dilakukan matching antara engine dan propeller yaitu mencocokkan karakteristik dari propeller dan karakteristik engine.

#### 2.4.3 Berat Motor

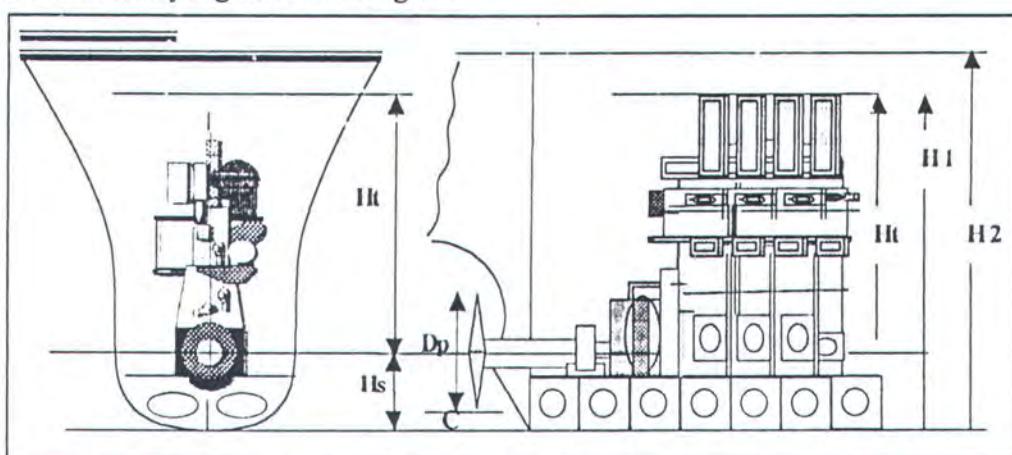
Kebutuhan berat yang dibutuhkan untuk sistem penggerak akan mempengaruhi LWT (light weight) kapal. LWT besar yang disebabkan oleh berat motor yang lebih besar akan menyebabkan DWT yang kecil. Berat muatan bersih yang merupakan komponen DWT akan turut berkurang sehingga akan mengurangi pendapatan dari kapal. Kebutuhan motor yang ringan dalam upaya memperoleh berat muatan bersih yang maksimal pada kapal-kapal niaga



merupakan pertimbangan yang penting. Selain itu berat sistem propulsi juga sangat erat hubungannya dengan stabilitas kapal.

#### 2.4.4 Dimensi Motor dan Kebutuhan Ruangan

Pada container ship, container dimuat dan dibongkar dengan menggunakan sistem lift-on dan lift off. Sehingga container ship membutuhkan panjang kamar mesin yang sependek mungkin. Dengan alasan yang sama pula bangunan atas diletakkan diatas kamar mesin. Container yang diletakkan dibawah deck menyebabkan kerugian ruangan yang disebabkan oleh bentuk kapal dan block container, kerugian ini tidak dapat dihindari, sehingga kebutuhan ruangan dalam container ship adalah sebuah prioritas. Sehingga kapal jenis ini harus memiliki kamar mesin yang sekecil mungkin.



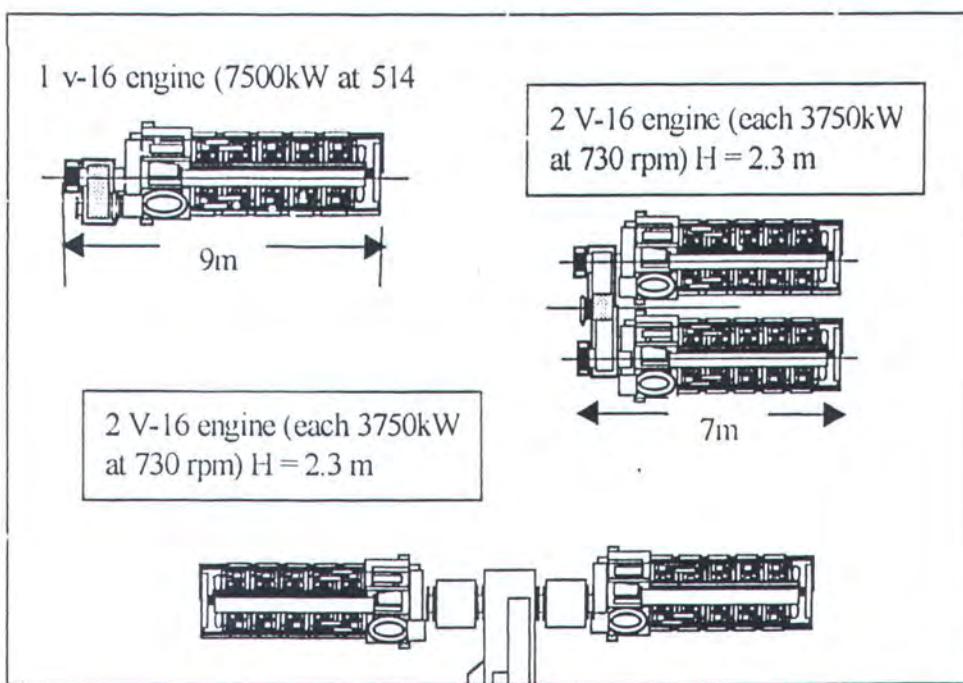
Gambar 2-4 Kebutuhan ruangan dan tinggi yang tersedia

- $D_p$  = Diameter propeller
- C = Clearance
- $H_s$  = Tinggi poros Propeller dari base line
- $H_t$  = Tinggi minimal yang dibutuhkan untuk vertical lift dari piston
- $H_1$  = Tinggi minimal Kamar Mesin yang harus tersedia
- $H_2$  = Tinggi kamar mesin





Pada kamar mesin yang terletak di bagian belakang kapal, maka permasalahan yang terjadi adalah bentuk buritan kapal yang menyempit di belakang. Permasalahan ini menyebabkan dibutuhkannya pertimbangan yang penting untuk meletakkan motor induk di dalam kamar mesin. Panjang, lebar dan tinggi dari motor diesel haruslah diperhatikan dan dipertimbangkan agar kapal memiliki efisiensi ruangan yang baik. Pada prinsipnya ruangan kamar mesin direncanakan dengan optimal dapat menampung berbagai peralatan bantu dan motor induk di dalamnya. Besarnya kebutuhan ruang bagi kamar mesin akan menyebabkan kurangnya ruangan bagi cargo hold. Sehingga dalam perencanaan kamar mesin pertimbangan-pertimbangan ini penting untuk diperhatikan.

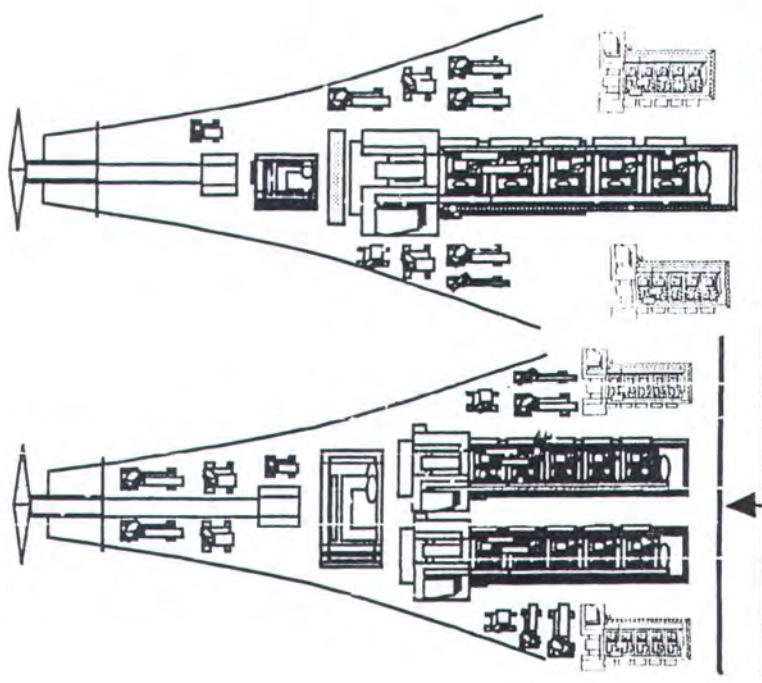


Gambar 2-5 Contoh beberapa alternatif plan dan perkiraan dimensi



#### 2.4.5 Konfigurasi Sistem Penggerak

Fundamental dari perencanaan sistem penggerak kapal adalah mengkoordinasikan motor induk, sistem transmisi dan propeller. Beberapa konfigurasi yang mungkin dilakukan dipertimbangkan dalam proses pemilihan diesel engine. Pada gambar 2-5 da 2-6 diberikan contoh beberapa konfigurasi permesinan yang dapat dilakukan:



Gambar 2-6 Pengaruh Konfigurasi Sistem Penggerak Kapal pada panjang kamar mesin



#### 2.4.6 Reversing Capability

Pertimbangan lain adalah kemampuan motor diesel untuk membalik arah putarannya berkaitan dengan kebutuhan kapal untuk melakukan gerak mundur dan manuver. Pada non reversing motor diesel dibutuhkan reversing reduction gear sehingga penambahan berat, kebutuhan space dan harga sistem penggerak kapal akan bertambah.

#### 2.4.7 Sistem Permesinan Bantu Pendukung Kerja Motor Induk

Faktor lain yang berpengaruh dalam menentukan motor penggerak kapal yang digunakan, adalah kebutuhan auxiliary power yang tinggi pada container ship.

Cargo yang diletakkan diatas deck menimbulkan permasalahan dengan angin, sehingga menimbulkan manuver yang kompleks bagi container ship, sehingga membutuhkan bow thruster yang baik.

Demikian juga dengan kebutuhan refrigeration bagi refrigerated container, peralatan fin stabilizing untuk mengatasi gerak rolling dan pompa yang besar untuk compensation tanks yang dibutuhkan untuk mengatasi gerak rolling dan trimming yang terjadi pada saat proses bongkar muat yang cepat. Kesemuanya ini menyebabkan kebutuhan auxiliary power yang besar.

Sistem permesinan bantu pendukung kerja motor induk turut dipertimbangkan juga karena akan mempengaruhi berat total permesinan di dalam



kamar mesin. Permesinan bantu bermacam-macam seperti sistem bahan bakar, sistem minyak pelumas, sistem pendingin dll.

Penggunaan bahan bakar HFO pada motor diesel memerlukan treatment bahan bakar yang lebih rumit dibandingkan penggunaan bahan bakar MDO.

#### 2.4.8 Reduction Gear dan Intermediate Shaft

Besarnya reduction gear dan panjang dari intermediate shaft yang dibutuhkan akan mempengaruhi kebutuhan berat serta ruang bagi susunan sistem penggerak. Panjang dari intermediate shaft dipengaruhi oleh metode pengeluaran tail shaft.

## 2.5 Matching Diesel Engine-Propeller

### 2.5.1 Definisi

Untuk memberi pengertian yang sama bagi keseluruhan isi tugas akhir ini penulis memandang perlu mengemukakan beberapa definisi dari berbagai hal yang dianggap penting.

Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal atau mendorong kapal dengan kecepatan  $V_s$  disebut effective horse power ( $EHP$ ):

*EHP = Rt. Vs.....*

Dimana  $R_t$  adalah tahanan total kapal.

Thrust horse power dari propeller disebut *THP*:



*THP* = *T*, *Vg*.....?

Dimana  $T$  adalah thrust/gaya dorong dari propeller sedang  $V_a$  adalah kecepatan dari air melalui propeller atau speed advance dari propeller. Hubungan antara  $V_s$  dan  $V_a$  adalah sebagai berikut:

Hubungan antara tahanan kapal dan thrust/gaya dorong:

$$R = T, (1-t) \dots +$$

*f* adalah thrust deduction factor

Daya yang diberikan pada propeller disebut sebagai *DHP*:

$Q$  adalah torsi pada propeller ;  $n$  adalah putaran propeller

Daya motor disebut sebagai *BHP*:

$\eta_s$  adalah efisiensi dari poros

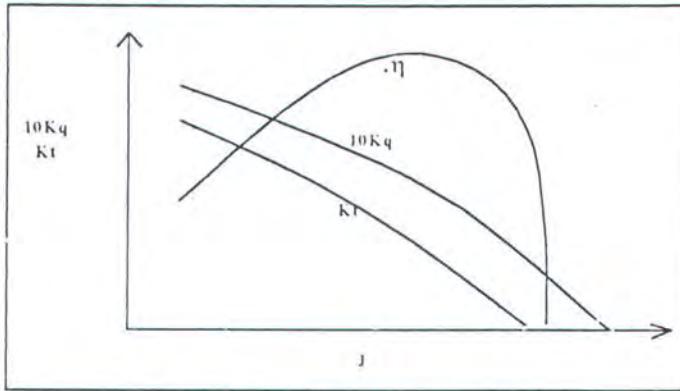
Hubungan dari definisi daya-daya diatas adalah sebagai berikut:







Diagram Kt-Kq digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2-8 Kt-Kq Diagram

Terdapat juga koefisiensi non dimensional yang berguna yaitu koefisien beban gaya dorong / thrust loading ( $C_m$ ) yang diekspresikan sebagai besarnya thrust pada setiap unit area dari propeller dan koefisien basic thrust ( $b_T$ ), serta koefisien basic torque( $b_Q$ ):

$$C_m = \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V u^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad \dots \dots \dots \quad 15$$

$$b_T = \frac{T \cdot n^2}{\rho \cdot V u^4} \quad \dots \dots \dots \quad 16$$

$$b_Q = \frac{Q \cdot n^3}{\rho \cdot V u^5} \quad \dots \dots \dots \quad 17$$







#### 2.5.4 Interaksi Kapal, Propeller dan Motor Induk

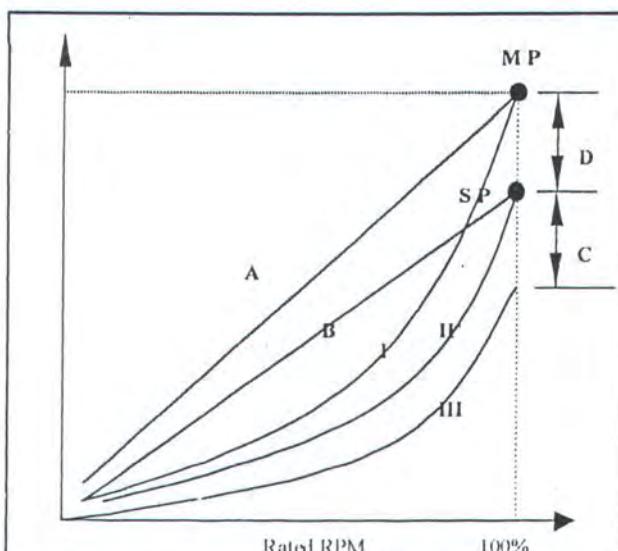
Proses matching adalah proses mencari hubungan (perpotongan) antara kurva motor induk dan karakteristik propeller dalam sebuah diagram power-rpm, hingga mendapatkan design point yang terbaik.

Terbaik tidak dapat didefinisikan secara sederhana dalam berbagai kasus tanpa pertimbangan ekonomis namun sebagai patokan dapat dikatakan suatu proses matching akan optimal apabila motor induk dapat beroperasi sedekat mungkin dengan kondisi rencana (design condition) serta berbagai kondisi diluar rencana berjalan memuaskan.

Selain hal yang telah disebutkan diatas juga terdapat berbagai kesalahan didalam proses design dan manufacture yang terkadang tidak dapat dihindari. Konsekwensi dari keadaaan ini dapat diatasi dengan modifikasi terhadap kurva propeller sebagai berikut:

##### 1. Modifikasi untuk kondisi service

Kondisi angin, pengotoran hull, berbagai keadaan lain setelah kapal beroperasi akan menyebabkan terjadi peningkatan tahanan kapal. Modifikasi yang dilakukan adalah menambah sea margin pada kurva propeller pada rated rpm yang tetap sehingga kurva propeller dalam diagram power rpm akan bergerak kekiri. Keadaan ini dapat dilihat pada gambar berikut:

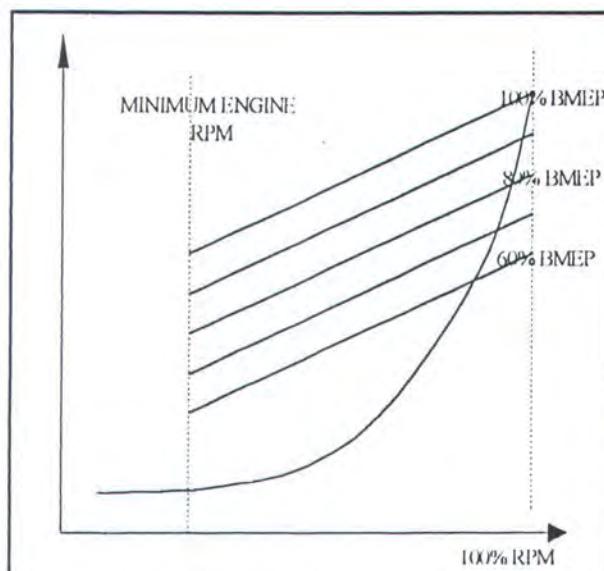


Gambar 2-10 Pengaruh dari kondisi service

- A = rated engine pada MCR
- B = rated engine pada SCR
- I = kurva propeller pada MCR
- II = kurva propeller pada kondisi service
- III = kurva propeller pada kondisi clean hull
- C = sea margin
- D = engine margin
- SP = Operating Point pada SCR
- MP = Operating point pada MCR

## 2. Low Speed Operation

Apabila kapal menggunakan FPP sebagai propulsor maka untuk menurunkan kecepatan dilakukan dengan menurunkan throttle untuk mengurangi laju bahan bakar ke dalam motor. Pada gambar berikut digambarkan garis power-rpm pada beberapa BMEP sebagai akibat penurunan laju bahan bakar. Seperti biasanya operating point selalu merupakan perpotongan kurva engine dan kurva propeller.

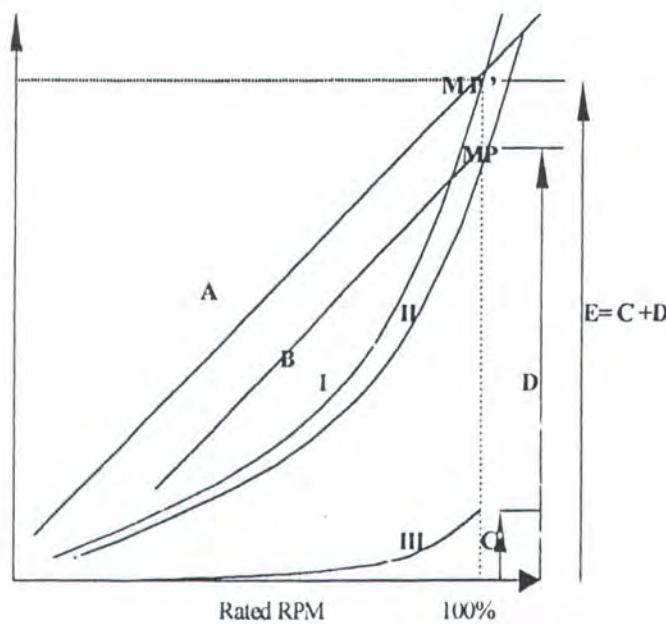


Gambar 2-11 Low Speed Operation

Motor diesel memiliki batas minimum rpm untuk menghasilkan daya. Batas kecepatan ini biasanya berkisar 20-30% dari rpm. Akibatnya engine tidak dapat beroperasi dibawah batas rpm minimum. Pemecahan yang paling banyak digunakan adalah dengan menggunakan clutch sehingga memungkinkan rpm propeller turun hingga nol ketika engine sedang berkerja pada rpm minimumnya.

### 3. Auxiliary Load

Beban tambahan yang disebabkan oleh PTO haruslah diperhatikan karena dapat menurunkan rpm engine dalam BMEP konstan. Matching yang dilakukan seperti halnya pada beban tahanan tambahan yang disebabkan oleh pengotoran hull dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2-i2 Pengaruh Beban tambahan karena Auxiliary Load

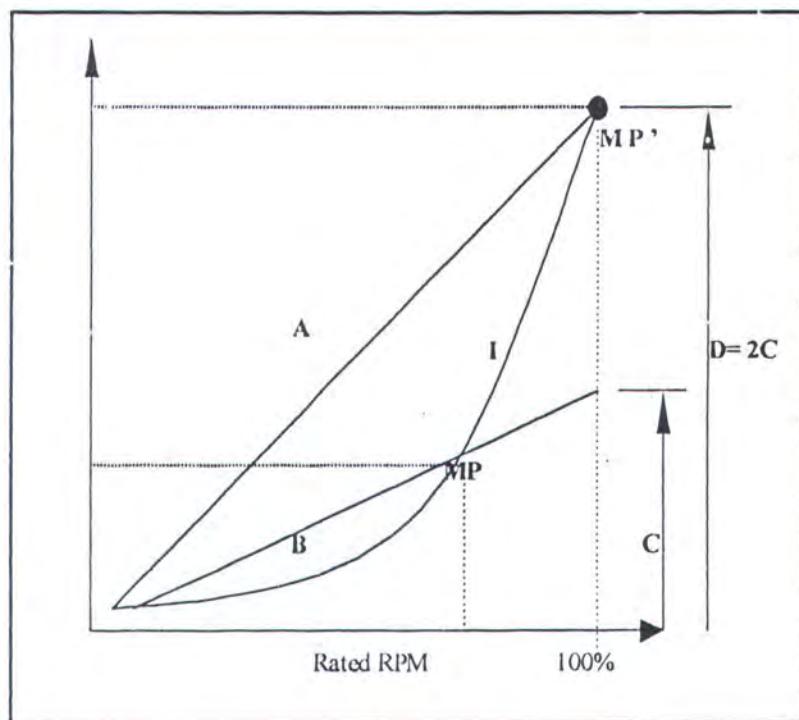
- A = rated engine dengan auxiliary load
- B = rated engine tanpa auxiliary load
- I = kurva propeller dengan auxiliary load
- II = kurva propeller tanpa auxiliary load
- III = auxiliary load
- C = daya yang dibutuhkan oleh auxiliary
- D = daya engine yang dibutuhkan tanpa auxiliary load
- E = daya engine yang dibutuhkan dengan auxiliary load
- MP = operating point tanpa auxiliary load
- MP' = operating point dengan auxiliary point



## 4. Multiple Engine

Penggunaan lebih dari satu engine untuk menggerakkan sebuah propeller telah umum dilakukan. Clutch selalu digunakan agar apabila sebuah engine dapat di disconnected sedang engine yang lain bekerja.

Problem bagi multiple engine adalah memprediksi daya yang tersedia ketika satu atau lebih engine di disconnected gambar berikut menunjukkan kondisi penggunaan dua engine yang sama dayanya.



Gambar 2-13 Kondisi pada Multi Engine Propulsion Plan

- A = rated total engine
- B = rated one engine
- I = kurva propeller
- C = daya dari satu engine
- D = daya total dua engine
- MP = operating point penggunaan satu engine
- MP' = operating point penggunaan dua engine



Dapat dilihat bahwa apabila satu engine di disconnected maka engine yang bekerja (conected) tidak dapat bekerja pada rated powernya karena tidak dapat mencapai rated rpm. Sehingga daya yang tersedia dari satu engine adalah lebih kecil dari setengah daya engine total.

## 2.6 Reduction Gear

Reduction gear adalah suatu sistem roda gigi yang berfungsi untuk menurunkan putaran motor. Pada kapal reduction gear berfungsi untuk menurunkan putaran mesin ke putaran propeller. Reduction gear biasanya digunakan pada motor putaran menengah dan tinggi. Pada motor diesel putaran rendah biasanya tidak menggunakan reduction gear.

Jenis reduction gear dibagi menurut banyaknya tingkat reduksi dan banyaknya masukan (input) dari mesin yang akan direduksi. Untuk tingkat reduksi dimana hanya terjadi satu kali reduksi maka jenisnya adalah single reduction gear dan untuk tingkat reduksi dimana terjadi dua kali reduksi maka jenisnya adalah double reduksi gear.

Sedangkan untuk satu masukan maka jenisnya adalah single input reduction gear, dan untuk dua masukan jenisnya adalah double input reduction gear. Jadi untuk suatu reduction gear dengan satu tingkat reduksi dan dua masukan dari motor disebut single reduction double input reduction gear.

Pada perencanaan reduction gear maka hal yang terlebih dahulu harus dilakukan adalah mencari rasio antara putaran mesin dan putaran propeller.



Setelah hal itu dihitung besarnya torsi dari motor yang putarannya akan direduksi.

Untuk nilai ratio yang kecil biasanya digunakan single reduction gear.

Pada sistem propulsi di kapal reduction gear tidak hanya dapat berfungsi sebagai penurun putaran tetapi juga dapat sebagai reversing gear (gear pembalik putaran). Reversing gear digunakan bila pada motor penggerak utama tidak mempunyai kemampuan untuk membalik putaran.

Reduktion gear menurut sistem kerjanya dapat dibedakan sebagai mechanical reduction gear dan electric drive. Yang pertama bekerja dengan prinsip kerja mekanis sedangkan yang kedua bekerja dengan prinsip kerja listrik.

## 2.7 Poros Transmisi

Poros transmisi pada sistem propulsi kapal secara garis besar dapat dibagi dalam dua bagian yaitu:

- Tail shaft
- Intermediate shaft

Tail shaft adalah poros yang berhubungan langsung dengan propeller, terletak antara propeller dan sekat kamar mesin, intermediate shaft adalah poros yang berhubungan langsung dengan motor penggerak utama atau dengan reduction gear terletak antara sekat kamar mesin dan motor penggerak utama.

Panjang intermediate shaft sangat tergantung dari metode dalam pelepasan poros pada waktu akan direparasi, terutama tail shaft. Jika metode pelepasan tail



shaft adalah dengan mengeluarkannya melalui propeller, maka panjang dari tail shaft tidak akan mempengaruhi panjang intermediate shaft tetapi bila metode pelepasan poros adalah dikeluarkan melalui kamar mesin, maka panjang intermediate shaft disyaratkan harus lebih panjang dari tail shaft. Tujuannya adalah untuk memudahkan pada waktu mereparasi atau melepas tail shaft.



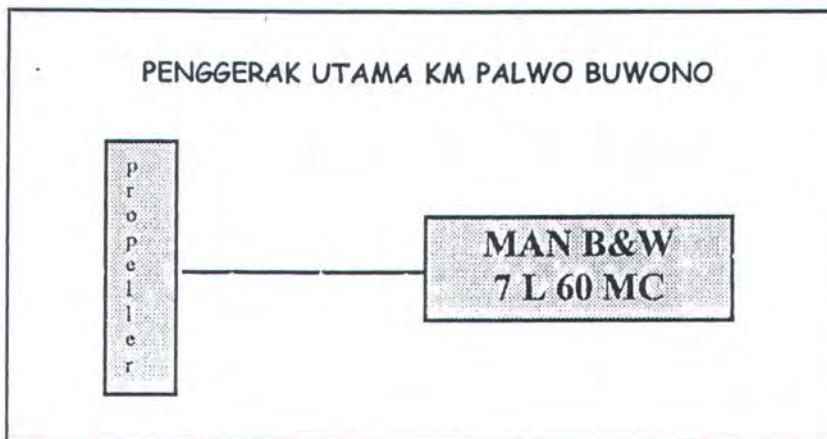
## **BAB III**

### **KM PALWO BUWONO**



## BAB III

### K M PALWO BUWONO



Gambar 3-1 Sistem Penggerak KM Palwo Buwono

- Low Speed Diesel ( two stroke )
- Fixed Pitch Propeller
- Tanpa gearbox

#### 3.1 Ukuran Utama KM.Palwo Buwono

Ukuran dan dimensi utama KM. Palwo Bowono adalah sebagai berikut:

- Loa = 177.35 m
- Lpp = 167.74 m
- Lwl = 171.10 m
- Breadth (mould) = 27.50 m
- Depth to main deck = 14.30 m
- Draught = 9.70 m



- Dead Weight = 26.200 Ton
- Gross Tonnage = maks 18.000 GT
- WSA = 5879.80 m<sup>3</sup>
- Displacement = 33449.1 ton
- C<sub>b</sub> = 0.715
- C<sub>p</sub> = 0.69
- Kecepatan dinas kapal pada sarat air maksimum (design) pada 90% MCR dengan 15% sea margin adalah minimum 19.1 knot
- Jarak jelajah tidak kurang dari 14.400 mil laut pada kecepatan dinas 19.1 knot.

### 3.2 Main Engine

- Merk = MAN-B&W
- Type = 7 L60 MC
- Jenis = Motor diesel dua langkah
- Daya = 18204 HP
- RPM = 123 rpm
- Jumlah silinder = 7 buah (inline)
- Diameter bore = 600 mm
- Panjang stroke = 1944 mm
- Bahan bakar = HFO
- Lower calorific value = 10080 kcal/kg
- Panjang motor = 9515 mm
- Lebar motor = 3228 mm



- 
- Tinggi motor = 8700 mm
  - Berat motor = 400 ton

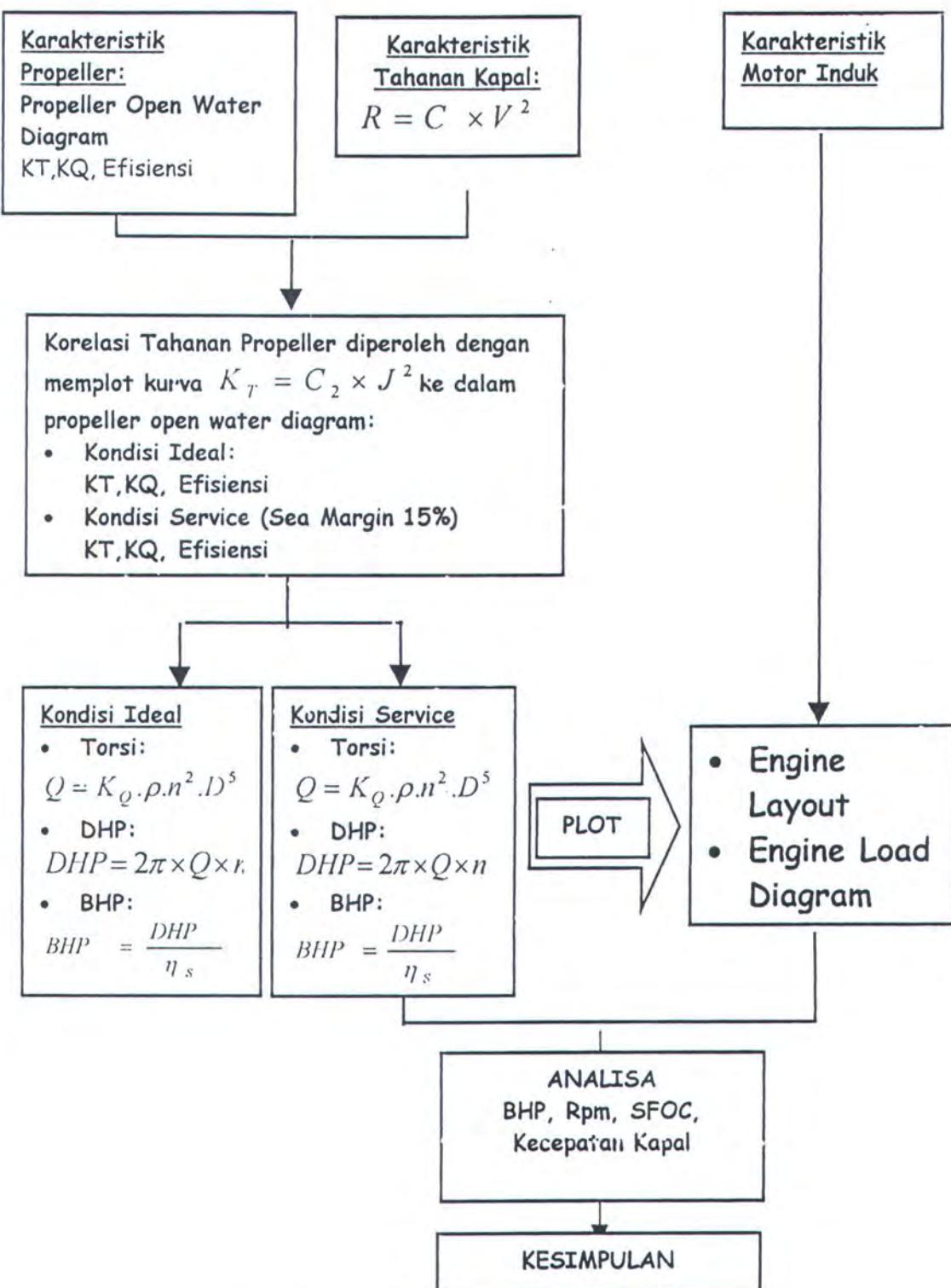
Propeller:

- Type = NACA-16
- Diameter = 6200 mm
- Ac/Ao = 0.604
- P/D = 0.794
- Jumlah daun = 4 buah





## 3.3 Matching Engine Propeller



Gambar 3-2 Proses Matching Engine-Propeller

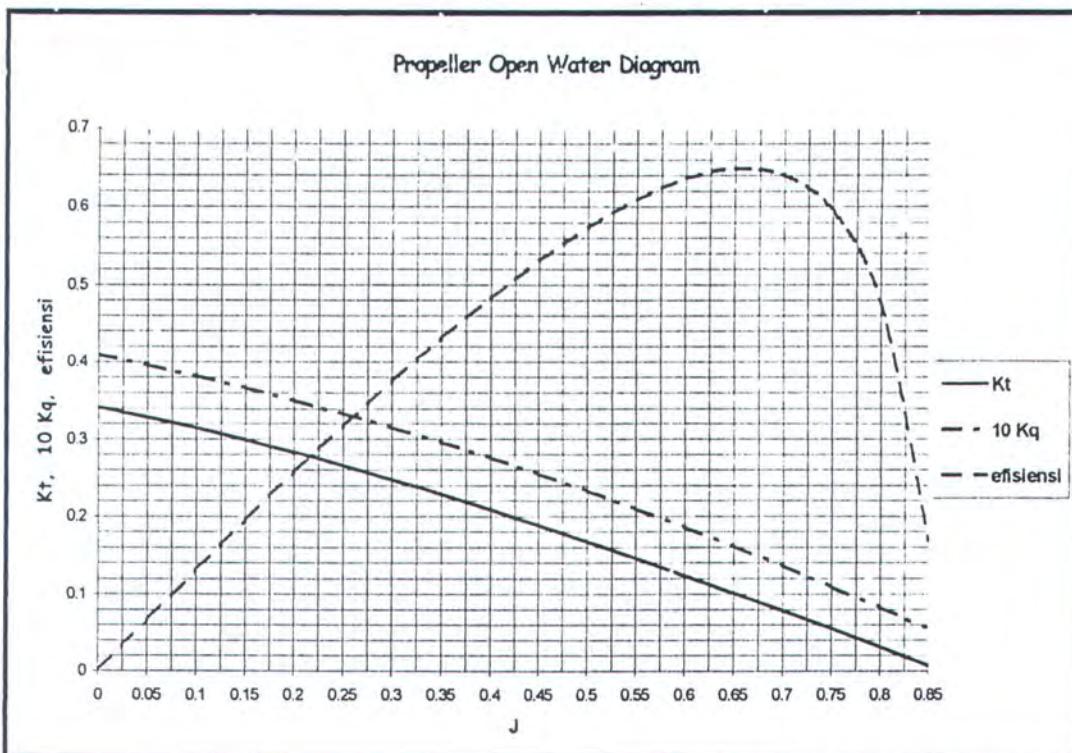


## 3.3.1 Propeller Open Water Test

Karakteristik propeller diperoleh dari program “Calculating of Open Water” milik UPT Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, BPPT, Surabaya.

| J     | Kt     | Kq      | η     | J     | Kt     | Kq      | η     |
|-------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|
| 0.000 | 0.3417 | 0.04090 | 0.000 | 0.500 | 0.1676 | 0.02326 | 0.573 |
| 0.050 | 0.3286 | 0.03958 | 0.066 | 0.550 | 0.1460 | 0.02097 | 0.609 |
| 0.100 | 0.3143 | 0.03816 | 0.131 | 0.600 | 0.1238 | 0.01860 | 0.636 |
| 0.150 | 0.2990 | 0.03664 | 0.195 | 0.650 | 0.1012 | 0.01614 | 0.649 |
| 0.200 | 0.2828 | 0.03501 | 0.257 | 0.700 | 0.0781 | 0.01359 | 0.640 |
| 0.250 | 0.2656 | 0.03329 | 0.317 | 0.750 | 0.0546 | 0.01095 | 0.595 |
| 0.300 | 0.2475 | 0.03148 | 0.375 | 0.800 | 0.0308 | 0.00823 | 0.477 |
| 0.350 | 0.2286 | 0.02956 | 0.431 | 0.850 | 0.0067 | 0.00542 | 0.168 |
| 0.400 | 0.2090 | 0.02755 | 0.463 | 0.864 | 0.0000 | 0.00462 | 0.000 |
| 0.450 | 0.1886 | 0.02545 | 0.531 |       |        |         |       |

Tabel 3-1 Tabel Propeller Open Water



Gambar 3-3 Kurva Propeller Open Water Diagram / Kt-Kq Diagram

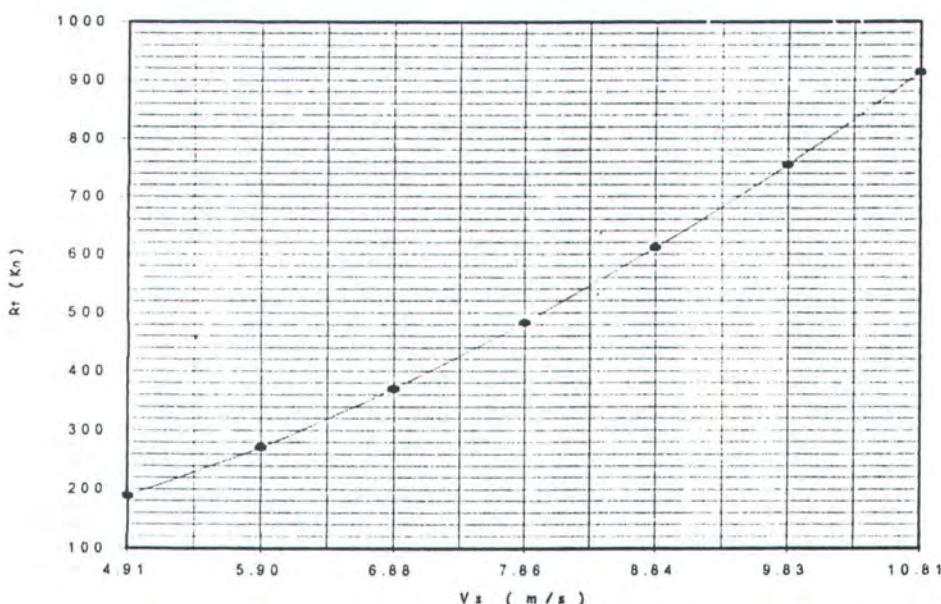


### 3.3.2 Karakteristik Tahanan Kapal

Besarnya tahanan kapal diperoleh dengan menggunakan program “Calculating of Open Water” milik UPT Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, BPPT, Surabaya.

| V<br>KNOT | V<br>M/S | R<br>KN | PE<br>kW |
|-----------|----------|---------|----------|
| 9.55      | 4.91     | 188.69  | 926.95   |
| 11.46     | 5.90     | 271.72  | 1601.77  |
| 13.37     | 6.88     | 369.84  | 2543.56  |
| 15.28     | 7.86     | 483.05  | 3796.80  |
| 17.19     | 8.84     | 611.36  | 5405.99  |
| 19.10     | 9.83     | 754.76  | 7415.53  |
| 21.01     | 10.81    | 913.27  | 9870.19  |

Tabel 3-2 Tahanan Kapal pada Kondisi Ideal



Gambar 3-4 Tahanan Kapal pada berbagai Kecepatan



Hubungan tahanan kapal dan kecepatan kapal dirumuskan sebagai:

$$R_T = C_1 \times V_s^2$$

dari harga tahanan yang ditunjukkan dalam tabel diatas didapatkan harga  $C_1$  sebesar 7818.9 sehingga:

$$R_T = 7818.9 \times V_s^2$$

harga tahanan ini adalah harga tahanan pada kondisi ideal.

### 3.3.3 Korelasi Tahanan Kapal dan Karakteristik Propeller

Selanjutnya tahanan kapal harus ditransformasikan ke dalam kurva karakteristik propeller:

$$R_T = C_1 \times V_s^2$$

$$C_2 = \frac{C_1}{(1-t)(1-w)^2 \cdot \rho \cdot D^2}$$

$$K_T = C_2 \times J^2$$

(  $t = 0.192$  ;  $w = 0.3264$  ;  $\rho = 1023,2$  ;  $T = 25^\circ\text{C}$  ; Diameter propeller = 6.2 m )

Kondisi ideal:

- $C_2 = \frac{7818.88}{(1 - 0.192) \times (1 - 0.3264)^2 \times 1023.8 \times (6.2)^2} = 0.6105$

- $K_T = 0.6105 \times J^2$



Kondisi service:

- $K_T = 0.6105 \times J^2 \times 1.15 = 0.70209 \times J^2$

Sesuai dengan perencanaan kapal ini, digunakan sca margin sebesar 15%.

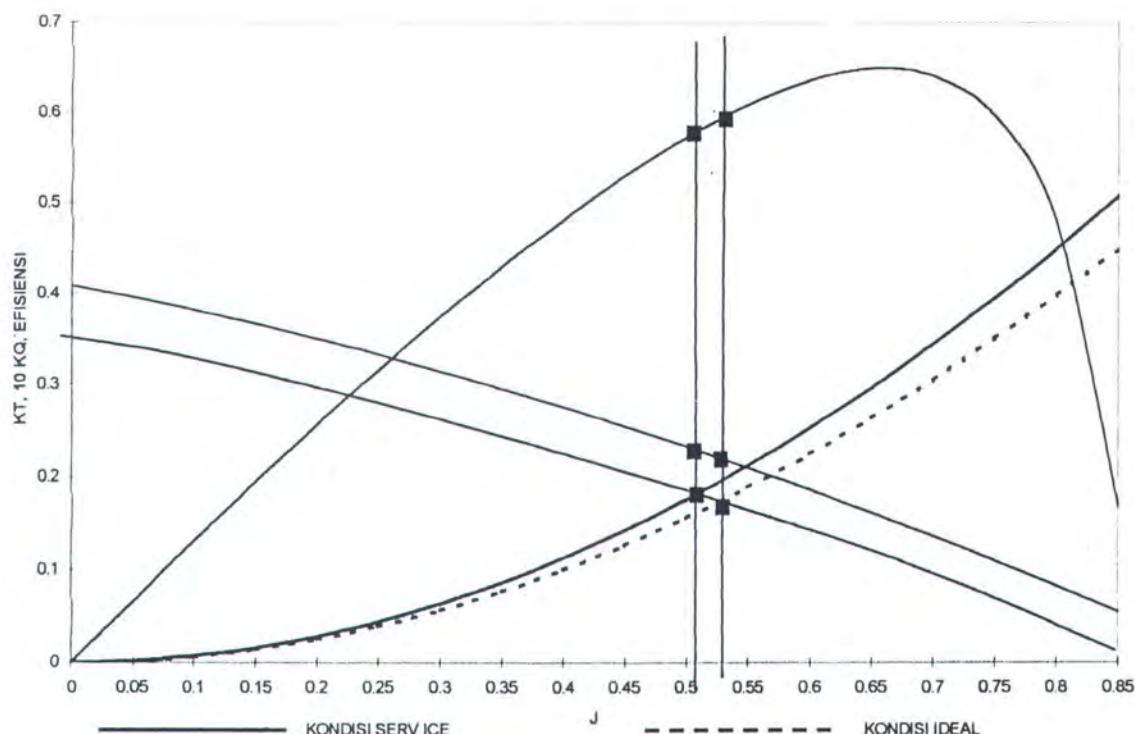
Penambahan tahanan kapal menyebabkan daya yang dibutuhkan pada kondisi service mengalami meningkat. Tahanan kapal dapat diimplementasikan ke dalam bentuk fungsi kuadrat J, langkah selanjutnya adalah memplotkan fungsi tersebut ke dalam propeller open water diagram untuk menemukan titik perpotongan antara kurva  $K_t$  dan kurva tahanan  $K_T = C_2 \times J^2$ . Perpotongan yang terjadi menunjukkan titik operasional dari propeller. Harga  $K_T = C_2 \times J^2$  pada berbagai harga J dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut:

| KONDISI IDEAL |        |        |         | KONDISI SERVICE |         |        |         |
|---------------|--------|--------|---------|-----------------|---------|--------|---------|
| J             | C2     | J2     | C2 x J2 | J               | C2      | J2     | C2 x J2 |
| 0.000         | 0.6105 | 0.0000 | 0.00000 | 0.000           | 0.70209 | 0.0000 | 0.00000 |
| 0.050         | 0.6105 | 0.0025 | 0.00156 | 0.050           | 0.70209 | 0.0025 | 0.00176 |
| 0.100         | 0.6105 | 0.0100 | 0.00623 | 0.100           | 0.70209 | 0.0100 | 0.00702 |
| 0.150         | 0.6105 | 0.0225 | 0.01401 | 0.150           | 0.70209 | 0.0225 | 0.01580 |
| 0.200         | 0.6105 | 0.0400 | 0.02491 | 0.200           | 0.70209 | 0.0400 | 0.02808 |
| 0.250         | 0.6105 | 0.0625 | 0.03892 | 0.250           | 0.70209 | 0.0625 | 0.04388 |
| 0.300         | 0.6105 | 0.0900 | 0.05604 | 0.300           | 0.70209 | 0.0900 | 0.06319 |
| 0.350         | 0.6105 | 0.1225 | 0.07628 | 0.350           | 0.70209 | 0.1225 | 0.08601 |
| 0.400         | 0.6105 | 0.1600 | 0.09963 | 0.400           | 0.70209 | 0.1600 | 0.11233 |
| 0.450         | 0.6105 | 0.2025 | 0.12610 | 0.450           | 0.70209 | 0.2025 | 0.14217 |
| 0.500         | 0.6105 | 0.2500 | 0.15568 | 0.500           | 0.70209 | 0.2500 | 0.17552 |
| 0.550         | 0.6105 | 0.3025 | 0.18837 | 0.550           | 0.70209 | 0.3025 | 0.21238 |
| 0.600         | 0.6105 | 0.3600 | 0.22418 | 0.600           | 0.70209 | 0.3600 | 0.25275 |
| 0.650         | 0.6105 | 0.4225 | 0.26309 | 0.650           | 0.70209 | 0.4225 | 0.29663 |
| 0.700         | 0.6105 | 0.4900 | 0.30513 | 0.700           | 0.70209 | 0.4900 | 0.34402 |
| 0.750         | 0.6105 | 0.5625 | 0.35027 | 0.750           | 0.70209 | 0.5625 | 0.39493 |
| 0.800         | 0.6105 | 0.6400 | 0.39853 | 0.800           | 0.70209 | 0.6400 | 0.44934 |
| 0.850         | 0.6105 | 0.7225 | 0.44991 | 0.850           | 0.70209 | 0.7225 | 0.50726 |
| 0.864         | 0.6105 | 0.7465 | 0.46485 | 0.864           | 0.70209 | 0.7465 | 0.52411 |

Tabel 3-4 Harga  $K_t = C_2 \times J^2$  pada berbagai harga J



Kurva  $K_T = C_2 \times J^2$  pada berbagai harga J diplot ke dalam open water diagram sebagai berikut:



Gambar 3-5 Penggambaran Kurva  $K_T = C_2 \times J^2$  pada terhadap

Propeller Open Water Diagram

Berdasarkan gambar diatas diketahui besarnya koefisien-koefisien sebagai berikut:

|         | J      | KT     | KQ      | EFISIENSI |
|---------|--------|--------|---------|-----------|
| SERVICE | 0.5095 | 0.1805 | 0.02327 | 0.58      |
| TRIAL   | 0.5275 | 0.1705 | 0.02235 | 0.595     |

Dengan mengetahui harga-harga diatas maka dapat dihitung besarnya torsi dan daya propeller ( DHP ) yang dihasilkan oleh propeller.



$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5$$

$$DHP = 2\pi \times Q \times n$$

$$BHP = \frac{DHP}{0.98}$$

Untuk mencapai kecepatan 19.1 knot pada kondisi ideal dibutuhkan daya sebesar:

$$BHP = \frac{R \times V}{\eta_R \times \eta_O \times \eta_S}$$

$$R = 754.763 \text{ kN}$$

$$BHP = \frac{754.763 \times 9.825}{\left(\frac{1-0.19}{1-0.3654}\right) \times 0.595 \times 0.98}$$

$$BHP = 9522.38 \text{ kW}$$

Pada kondisi service:

$$BHP \text{ ideal} = 85\% BHP \text{ scr}$$

$$BHP_{scr} = 11202.8 \text{ kW}$$

Pada kondisi MCR :

$$BHP_{scr} = 90\% BHP_{mcr}$$

$$BHP_{mcr} = 12447.5 \text{ kW}$$

Kebutuhan torsi dan daya pada berbagai rating rpm yang disesuaikan dengan 100 % rating rpm 7 L 60 MC ( 123 rpm) ditampilkan dalam bentuk tabel berikut:



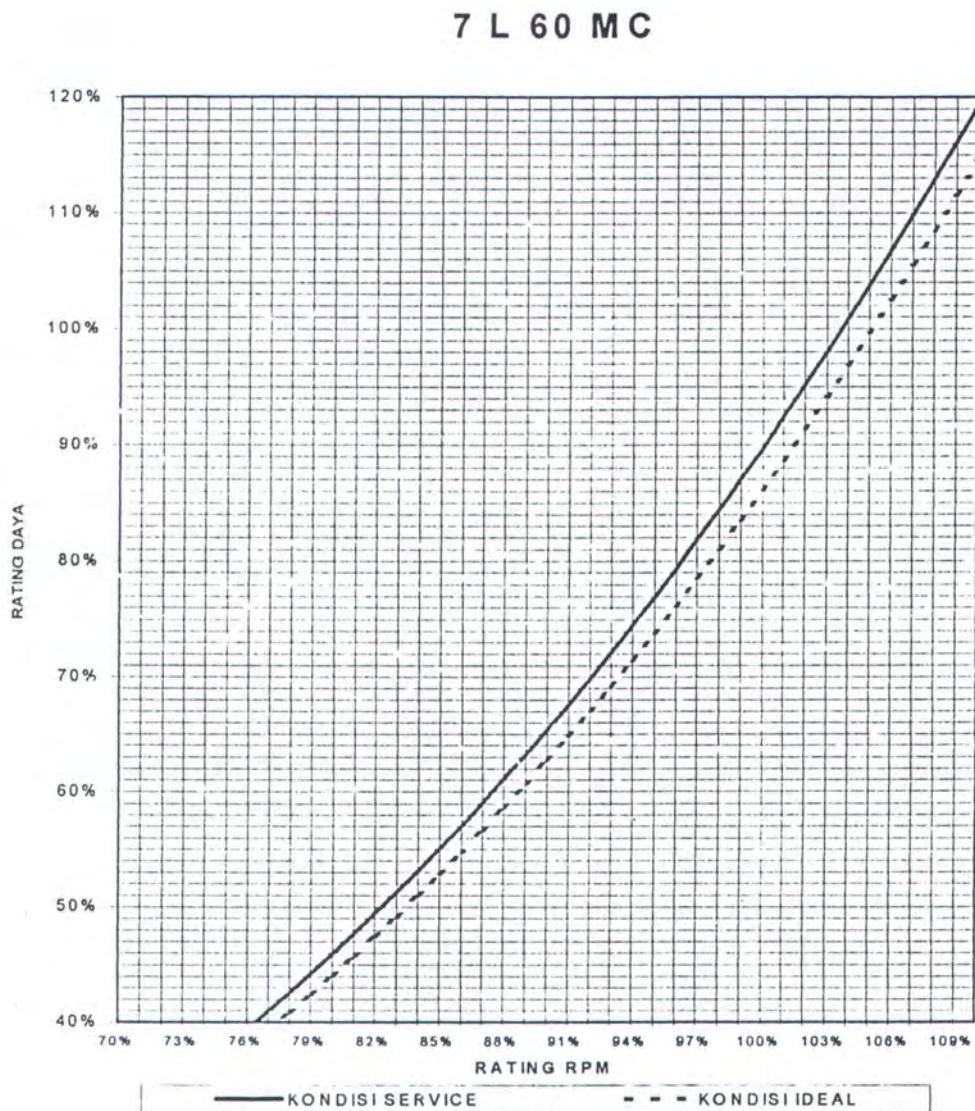
## 7 L 60 MC

| SERVICE |       |         |        |         |         |        | TRIAL |       |         |        |         |         |        |
|---------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|
| RPM     | RPM   | KQ      | Q      | DHP     | BHP     | BHP    | RPM   | RPM   | KQ      | Q      | DHP     | BHP     | BHP    |
| %       |       |         | KW     | KW      | KW      | %      | %     |       |         | KW     | KW      | KW      | %      |
| 70%     | 86.1  | 0.02327 | 449.2  | 4212.0  | 4297.9  | 32.0%  | 70%   | 86.1  | 0.02235 | 431.4  | 4045.4  | 4128.0  | 30.7%  |
| 71%     | 87.3  | 0.02327 | 462.1  | 4395.1  | 4484.8  | 33.4%  | 71%   | 87.3  | 0.02235 | 443.8  | 4221.3  | 4307.5  | 32.0%  |
| 72%     | 88.6  | 0.02327 | 475.2  | 4583.4  | 4676.9  | 34.8%  | 72%   | 88.6  | 0.02235 | 456.4  | 4402.2  | 4492.0  | 33.4%  |
| 73%     | 89.8  | 0.02327 | 488.5  | 4777.0  | 4874.5  | 36.3%  | 73%   | 89.8  | 0.02235 | 469.2  | 4588.2  | 4681.8  | 34.8%  |
| 74%     | 91.0  | 0.02327 | 502.0  | 4976.1  | 5077.6  | 37.8%  | 74%   | 91.0  | 0.02235 | 482.1  | 4779.3  | 4876.9  | 36.3%  |
| 75%     | 92.3  | 0.02327 | 515.6  | 5180.5  | 5286.3  | 39.3%  | 75%   | 92.3  | 0.02235 | 495.3  | 4975.7  | 5077.3  | 37.8%  |
| 76%     | 93.5  | 0.02327 | 529.5  | 5390.5  | 5500.5  | 40.9%  | 76%   | 93.5  | 0.02235 | 508.5  | 5177.4  | 5283.1  | 39.3%  |
| 77%     | 94.7  | 0.02327 | 543.5  | 5606.1  | 5720.5  | 42.6%  | 77%   | 94.7  | 0.02235 | 522.0  | 5384.5  | 5494.4  | 40.9%  |
| 78%     | 95.9  | 0.02327 | 557.7  | 5827.4  | 5946.3  | 44.2%  | 78%   | 95.9  | 0.02235 | 535.7  | 5597.0  | 5711.2  | 42.5%  |
| 79%     | 97.2  | 0.02327 | 572.1  | 6054.4  | 6178.0  | 46.0%  | 79%   | 97.2  | 0.02235 | 549.5  | 5815.0  | 5933.7  | 44.1%  |
| 80%     | 98.4  | 0.02327 | 586.7  | 6287.2  | 6415.6  | 47.7%  | 80%   | 98.4  | 0.02235 | 563.5  | 6038.7  | 6161.9  | 45.8%  |
| 81%     | 99.6  | 0.02327 | 601.4  | 6526.0  | 6659.2  | 49.5%  | 81%   | 99.6  | 0.02235 | 577.7  | 6268.0  | 6395.9  | 47.6%  |
| 82%     | 100.9 | 0.02327 | 616.4  | 6770.7  | 6908.8  | 51.4%  | 82%   | 100.9 | 0.02235 | 592.0  | 6503.0  | 6635.7  | 49.4%  |
| 83%     | 102.1 | 0.02327 | 631.5  | 7021.4  | 7164.7  | 53.3%  | 83%   | 102.1 | 0.02235 | 606.5  | 6743.8  | 6881.4  | 51.2%  |
| 84%     | 103.3 | 0.02327 | 646.8  | 7278.3  | 7426.8  | 55.3%  | 84%   | 103.3 | 0.02235 | 621.2  | 6990.5  | 7133.2  | 53.1%  |
| 85%     | 104.6 | 0.02327 | 662.3  | 7541.3  | 7695.2  | 57.3%  | 85%   | 104.6 | 0.02235 | 636.1  | 7243.2  | 7391.0  | 55.0%  |
| 86%     | 105.8 | 0.02327 | 676.0  | 7810.6  | 7970.0  | 59.3%  | 86%   | 105.8 | 0.02235 | 651.2  | 7501.8  | 7654.9  | 57.0%  |
| 87%     | 107.0 | 0.02327 | 693.8  | 8086.3  | 8251.3  | 61.4%  | 87%   | 107.0 | 0.02235 | 666.4  | 7766.6  | 7925.1  | 59.0%  |
| 88%     | 108.2 | 0.02327 | 709.9  | 8368.3  | 8539.1  | 63.5%  | 88%   | 108.2 | 0.02235 | 681.8  | 8037.5  | 8201.5  | 61.0%  |
| 89%     | 109.5 | 0.02327 | 726.1  | 8656.9  | 8833.5  | 65.7%  | 89%   | 109.5 | 0.02235 | 697.4  | 8314.6  | 8484.3  | 63.1%  |
| 90%     | 110.7 | 0.02327 | 742.5  | 8952.0  | 9134.6  | 68.0%  | 90%   | 110.7 | 0.02235 | 713.2  | 8598.0  | 8773.5  | 65.3%  |
| 91%     | 111.9 | 0.02327 | 759.1  | 9253.7  | 9442.5  | 70.3%  | 91%   | 111.9 | 0.02235 | 729.1  | 8887.8  | 9069.2  | 67.5%  |
| 92%     | 113.2 | 0.02327 | 775.9  | 9562.1  | 9757.3  | 72.6%  | 92%   | 113.2 | 0.02235 | 745.2  | 9184.1  | 9371.5  | 69.7%  |
| 93%     | 114.4 | 0.02327 | 792.8  | 9877.3  | 10078.9 | 75.0%  | 93%   | 114.4 | 0.02235 | 761.5  | 9486.8  | 9680.4  | 72.0%  |
| 94%     | 115.6 | 0.02327 | 810.0  | 10199.4 | 10407.5 | 77.4%  | 94%   | 115.6 | 0.02235 | 778.0  | 9796.1  | 9996.1  | 74.4%  |
| 95%     | 116.9 | 0.02327 | 827.3  | 10528.4 | 10743.2 | 79.9%  | 95%   | 116.9 | 0.02235 | 794.6  | 10112.1 | 10318.5 | 76.8%  |
| 96%     | 118.1 | 0.02327 | 844.8  | 10864.4 | 11086.1 | 82.5%  | 96%   | 118.1 | 0.02235 | 811.4  | 10434.8 | 10647.8 | 79.2%  |
| 97%     | 119.3 | 0.02327 | 862.5  | 11207.4 | 11436.1 | 85.1%  | 97%   | 119.3 | 0.02235 | 828.4  | 10764.3 | 10984.0 | 81.7%  |
| 98%     | 120.5 | 0.02327 | 880.4  | 11557.6 | 11793.5 | 87.7%  | 98%   | 120.5 | 0.02235 | 845.6  | 11100.7 | 11327.2 | 84.3%  |
| 99%     | 121.8 | 0.02327 | 898.4  | 11915.0 | 12158.2 | 90.5%  | 99%   | 121.8 | 0.02235 | 862.9  | 11444.0 | 11677.5 | 86.9%  |
| 100%    | 123.0 | 0.02327 | 916.7  | 12279.8 | 12530.4 | 93.2%  | 100%  | 123.0 | 0.02235 | 880.4  | 11794.3 | 12035.0 | 89.5%  |
| 101%    | 124.2 | 0.02327 | 935.1  | 12651.9 | 12910.1 | 96.1%  | 101%  | 124.2 | 0.02235 | 898.1  | 12151.7 | 12399.6 | 92.3%  |
| 102%    | 125.5 | 0.02327 | 953.7  | 13031.4 | 13297.3 | 98.9%  | 102%  | 125.5 | 0.02235 | 916.0  | 12516.2 | 12771.6 | 95.0%  |
| 103%    | 126.7 | 0.02327 | 972.5  | 13418.4 | 13692.3 | 101.9% | 103%  | 126.7 | 0.02235 | 934.1  | 12887.9 | 13150.9 | 97.8%  |
| 104%    | 127.9 | 0.02327 | 991.5  | 13813.1 | 14095.0 | 104.9% | 104%  | 127.9 | 0.02235 | 952.3  | 13267.0 | 13537.7 | 100.7% |
| 105%    | 129.2 | 0.02327 | 1010.7 | 14215.4 | 14505.5 | 107.9% | 105%  | 129.2 | 0.02235 | 970.7  | 13653.3 | 13932.0 | 103.7% |
| 106%    | 130.4 | 0.02327 | 1030.0 | 14625.4 | 14923.9 | 111.0% | 106%  | 130.4 | 0.02235 | 989.3  | 14047.2 | 14333.8 | 106.7% |
| 107%    | 131.6 | 0.02327 | 1049.5 | 15043.2 | 15350.2 | 114.2% | 107%  | 131.6 | 0.02235 | 1008.0 | 14448.5 | 14743.4 | 109.7% |
| 108%    | 132.8 | 0.02327 | 1069.2 | 15469.0 | 15784.7 | 117.4% | 108%  | 132.8 | 0.02235 | 1027.0 | 14857.4 | 15160.6 | 112.8% |
| 109%    | 134.1 | 0.02327 | 1089.1 | 15902.7 | 16227.2 | 120.7% | 109%  | 134.1 | 0.02235 | 1046.1 | 15273.9 | 15585.6 | 116.0% |
| 110%    | 135.3 | 0.02327 | 1109.2 | 16344.4 | 16677.9 | 124.1% | 110%  | 135.3 | 0.02235 | 1065.3 | 15698.2 | 16018.6 | 119.2% |

Tabel 3-5 Torsi, DHP dan BHP terhadap Rpm

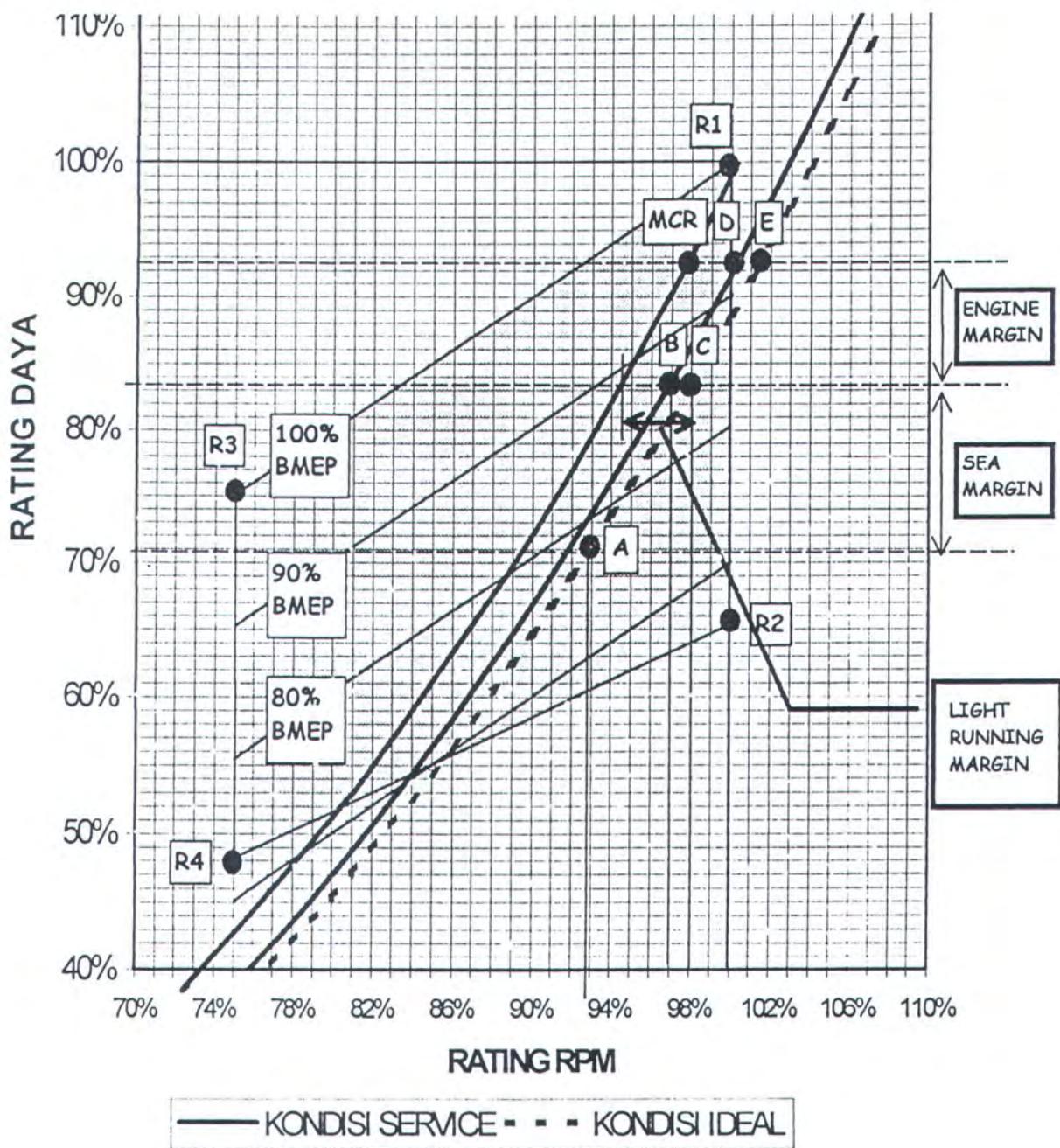


Untuk memperjelas akan ditampilkan kebutuhan daya pada kondisi ideal dan service pada gambar berikut:



Gambar 3-6 Kurva BHP terhadap rpm

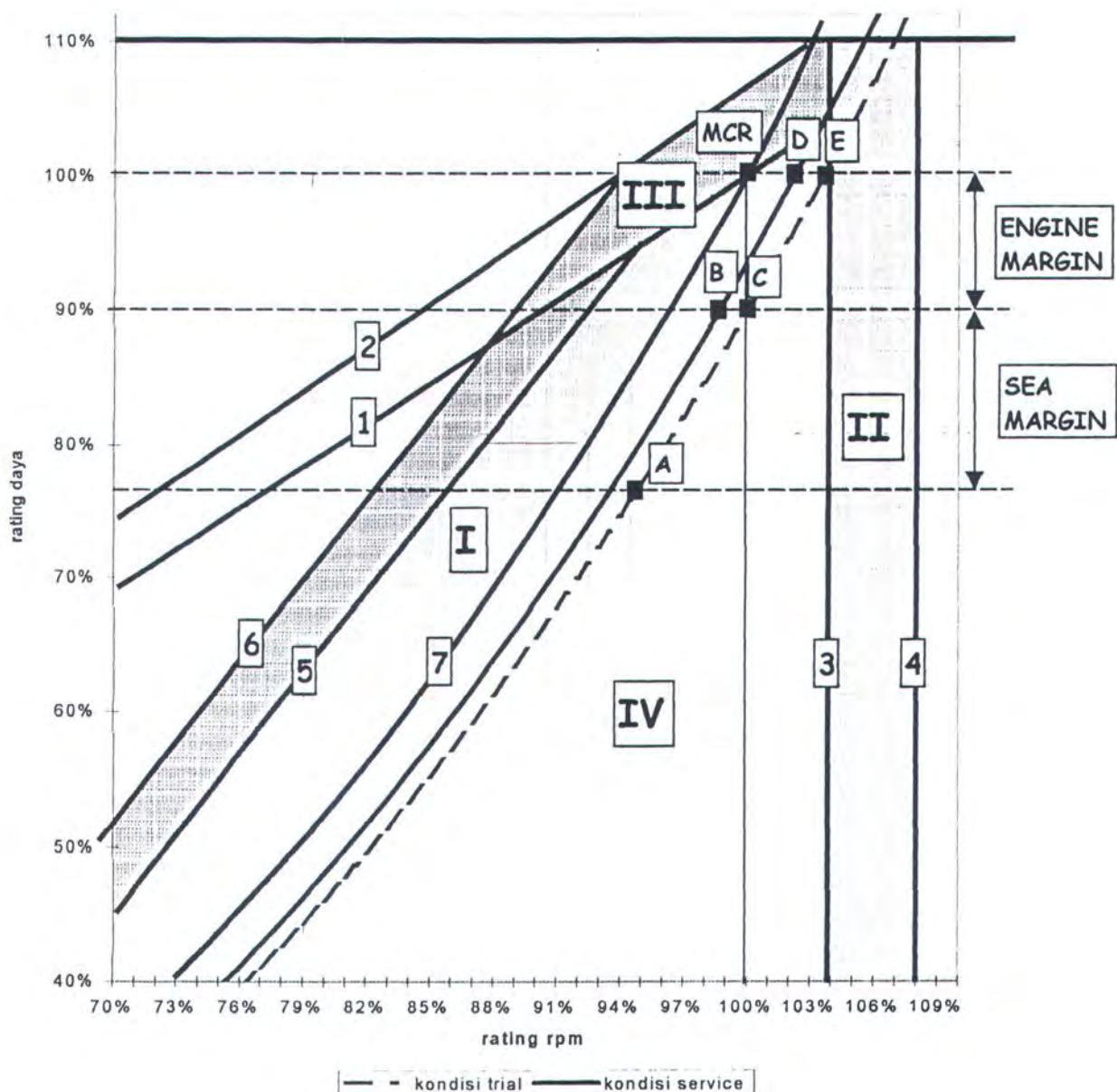
Dalam proses matching karakteristik motor induk sangatlah diperlukan untuk mengetahui kondisi kerja motor induk dan hasil penggambaran kurva beban propeller ke dalam karakteristik motor induk. Berikut ini adalah hasil penggambaran kurva propeller ke dalam karakteristik motor induk.



Gambar 3-7 Engine Layout Diagram 7 L 60 MC

|     | KONDISI | DAYA (kW) | % DAYA | RPM    | % RPM   | V <sub>s</sub> (KNOT) |
|-----|---------|-----------|--------|--------|---------|-----------------------|
| A   | TRIAL   | 9522.38   | 70.85% | 114    | 92.68%  | 19.1                  |
| B   | SERVICE | 11202.8   | 83.35% | 118.5  | 96.34%  | 19.1                  |
| C   | TRIAL   | 11202.8   | 83.35% | 120.2  | 97.72%  | 20.1                  |
| D   | SERVICE | 12447.56  | 92.62% | 122.8  | 99.84%  | 19.8                  |
| E   | TRIAL   | 12447.56  | 92.62% | 124.4  | 101.14% | 20.8                  |
| SCR |         | 11202.8   | 83.35% | 118.5  | 96.34%  |                       |
| MCR |         | 12447.56  | 92.62% | 120.05 | 97.60%  |                       |

|           | R1    | R2   | R3    | R4   |
|-----------|-------|------|-------|------|
| DAYA (kW) | 13440 | 8610 | 10080 | 6440 |
| RPM       | 123   | 123  | 92    | 92   |



Gambar 3-8 Engine Load Diagram

Keterangan gambar:

- **Garis 1:** garis *constant BMEP* melalui maximum continuous rating dari 100% daya dan 100% rpm hingga 95% daya dan 95% rpm. **Daerah diatas**



*garis 1 adalah overload range* dimana motor hanya diijinkan untuk bekerja selama maksimum satu jam selama sea trial.

- **Garis 2 :** garis *overload limit* sejajar dengan garis 1 dari 110% daya dan 103 % rpm hingga 100% daya dan 94% rpm.
- **Garis 3 :** batas 104 % rpm *overspeed range*.
- **Garis 4 :** batas *overspeed limit* pada 108% rpm. Batasan antara *104% rpm dan 108% rpm* hanya diijinkan *pada sea trial untuk mendemonstrasikan kecepatan kapal dalam kondisi maksimum continuous rating*.
- **Garis 5 :** 95% daya dan 95% rpm hingga 45% daya dan 70% rpm. Apabila melampaui garis ini motor akan *mengalami kekurangan pasokan udara pembilasan*.
- **Garis 6 :** Sejajar dengan garis 5 memotong 100% daya dan 94 % speed.
- **Garis 7 :** Nominal propeller characteristic sejajar dengan propeller karakteristic pada kondisi ideal/trial bergeser ke kiri sebesar light running margin.
- **Daerah I :** disebut *service range with operational time limit* yaitu daerah antara **garis 5** dan **garis 6** ini dianjurkan hanya digunakan dalam batas waktu tertentu misalnya dalam fast acceleration.
- **Daerah II :** disebut *overspeed range* hingga overspeed limit pada garis 4 (108% rating rpm). Pada overspeed dianjurkan hanya digunakan dalam batas waktu tertentu dengan persyaratan getaran yang ketat.
- **Daerah III :** *Overload* 110% engine torsi maksimum satu jam dalam sea trial.



- **Daerah IV** : daerah antara nominal propeller characteristic 100% daya dan garis 3 ini *direkomendasikan bagi continuous operation.*
- **Engine Margin** : margin yang diberikan untuk menyediakan daya yang lebih besar bagi keperluan-keperluan tertentu dan darurat, *merupakan selisih antara MCR dan SCR* dalam tugas akhir ini digunakan engine margin sebesar 10% atau  $SCR = 90\% MCR$ .
- **Sea Margin** : margin yang diberikan untuk mengatasi penambahan tahanan pada badan kapal yang disebabkan oleh pengotoran hull, kondisi cuaca dan perairan dalam tugas akhir ini *sea margin diberikan sebesar 15%* atau *kondisi ideal = 85% kondisi service.*
- **Light Running Margin** : margin sebesar 3% – 7% ( digunakan sebesar 3.5%) yang diberikan untuk mengatasi permasalahan berikut ini:
  - 1) Pengotoran hull dan propeller kapal.
  - 2) Pengaruh cuaca dan angin
  - 3) Penurunan efisiensi propeller kapal yang disebabkan penambahan kekasaran permukaan propeller
  - 4) Penurunan efisiensi motor induk yang disebabkan oleh pengotoran pendingin udara pembilasan (scavange air cooler), pengotoran turbocharger, kondisi ring piston yang memburuk, kondisi fuel injection sistem, semua hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan dan umur motor induk.



Dengan melihat pada gambar 3-7 dan gambar 3-8 dapat disimpulkan kondisi service kapal telah berada pada daerah yang diijinkan oleh engine untuk beroperasi secara continuous sebab titik A dan B (dimana kecepatan kapal sesuai dengan rencana kecepatan service kapal 19,1 knot) dan MCR berada pada engine envelope.

### 3.4 Konsumsi Bahan Bakar

Setelah mengetahui kondisi operasi yang ada maka selanjutnya diadakan estimasi SFOC yang dilakukan berdasarkan *project guide MAN B&W*. Estimasi SFOC dilakukan berdasarkan pada konsumsi bahan bakar pada MCR kemudian dilakukan estimasi SFOC pada SCR.

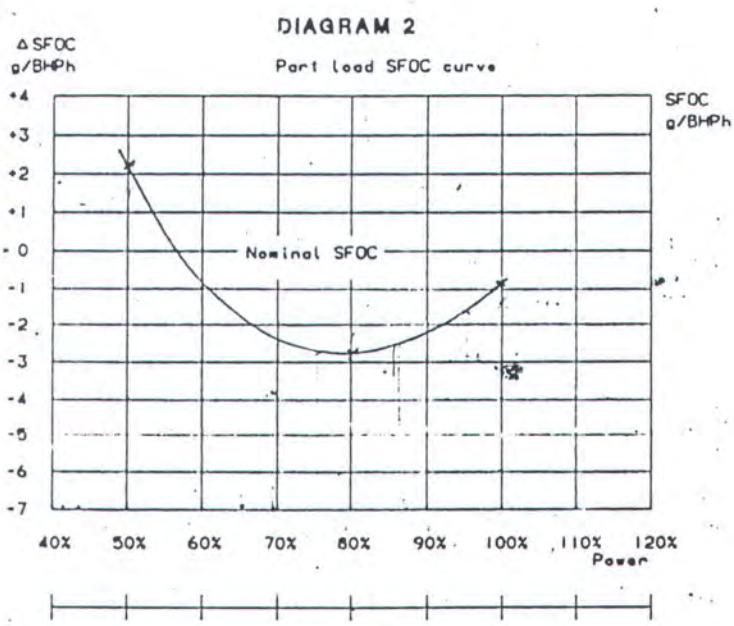
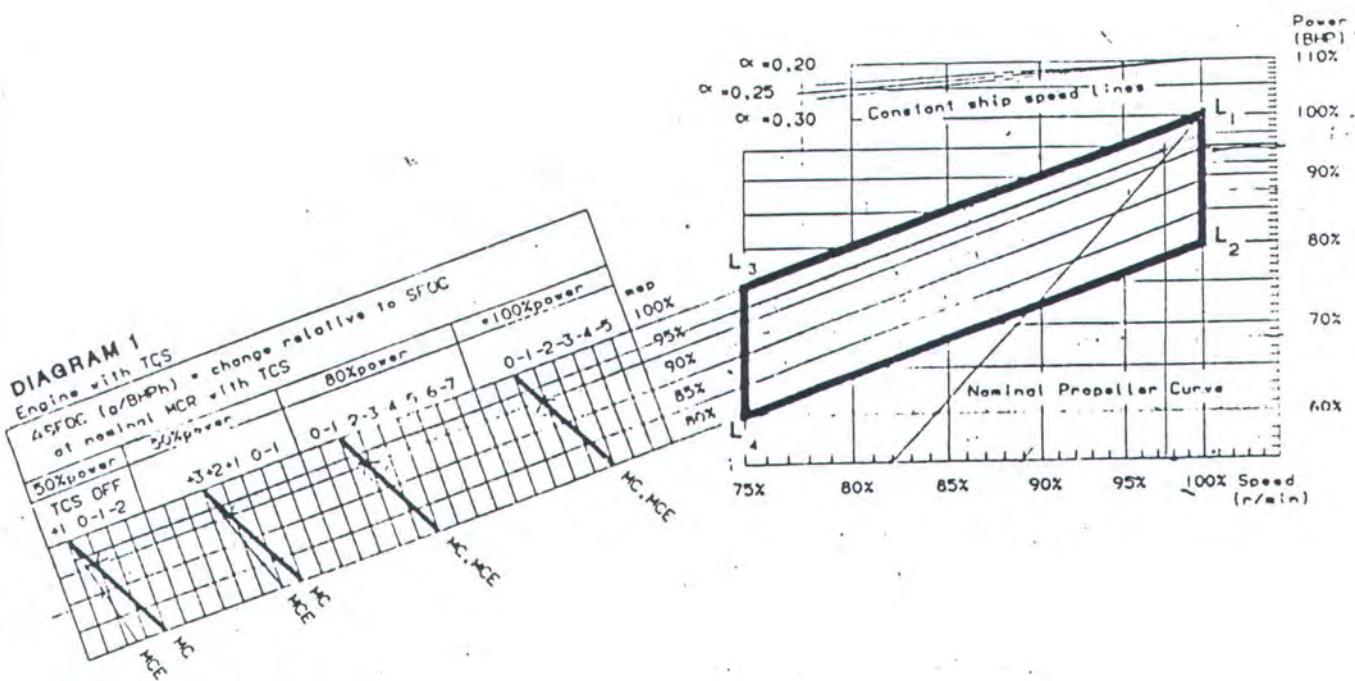
Dari proses matching diperoleh hasil berikut:

7 L 60 MC

|   | KONDISI | DAYA (kW) | % DAYA | RPM    | % RPM   | Vs (KNOT) |
|---|---------|-----------|--------|--------|---------|-----------|
| A | TRIAL   | 9522.38   | 70.85% | 114    | 92.68%  | 19.1      |
| B | SERVICE | 11202.8   | 83.35% | 118.5  | 96.34%  | 19.1      |
| C | TRIAL   | 11202.8   | 83.35% | 120.2  | 97.72%  | 20.07     |
| D | SERVICE | 12447.56  | 92.62% | 122.8  | 99.84%  | 19.8      |
| E | TRIAL   | 12447.56  | 92.62% | 124.4  | 101.14% | 20.77     |
|   | SCR     | 11202.8   | 83.35% | 118.5  | 96.34%  |           |
|   | MCR     | 12447.56  | 92.62% | 120.05 | 97.60%  |           |

|           | R1    | R2   | R3    | R4   |
|-----------|-------|------|-------|------|
| DAYA (kW) | 13440 | 8610 | 10080 | 6440 |
| RPM       | 123   | 123  | 92    | 92   |

SFOC diketahui dengan menggunakan gambar yang tersedia pada project guide:





Dari gambar tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\text{SFOC pada MCR} = 128 - 1.6 = 126.4 \text{ g/BHP.h} = 171.86 \text{ g/KW.h}$$

$$\text{SFOC pada SCR} = 128 - 3.2 = 124.8 \text{ g/BHP.h} = 169.68 \text{ g/KW.h}$$

Scalanjutnya konsumsi bahan bakar dihitung per tahun dengan asumsi bahwa kapal akan berlayar selama 270 hari selama setahun.

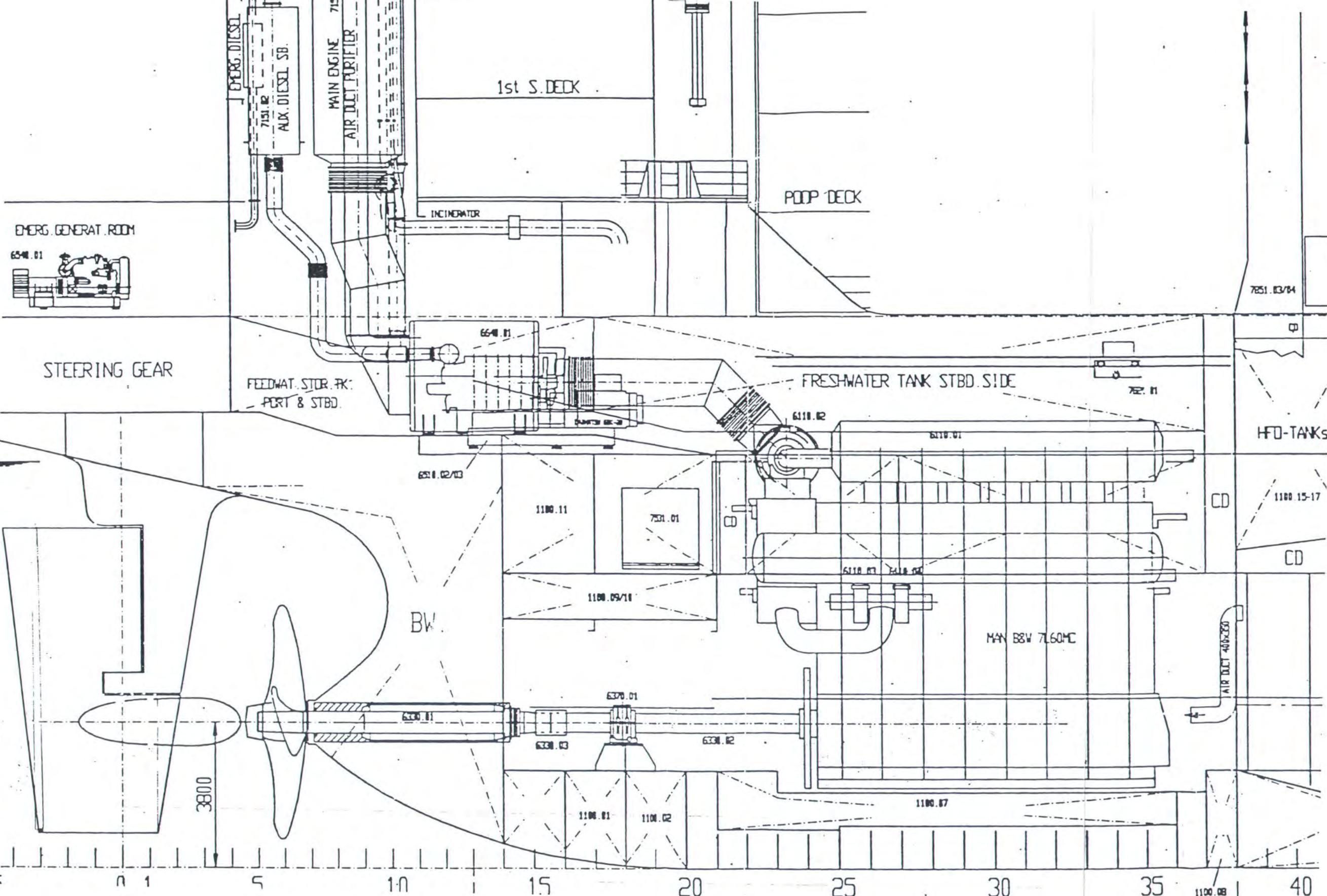
$$\text{Konsumsi bahan bakar} = 270 \times \text{BHP} \times \text{SFOC} \times 24 \times 1.06$$

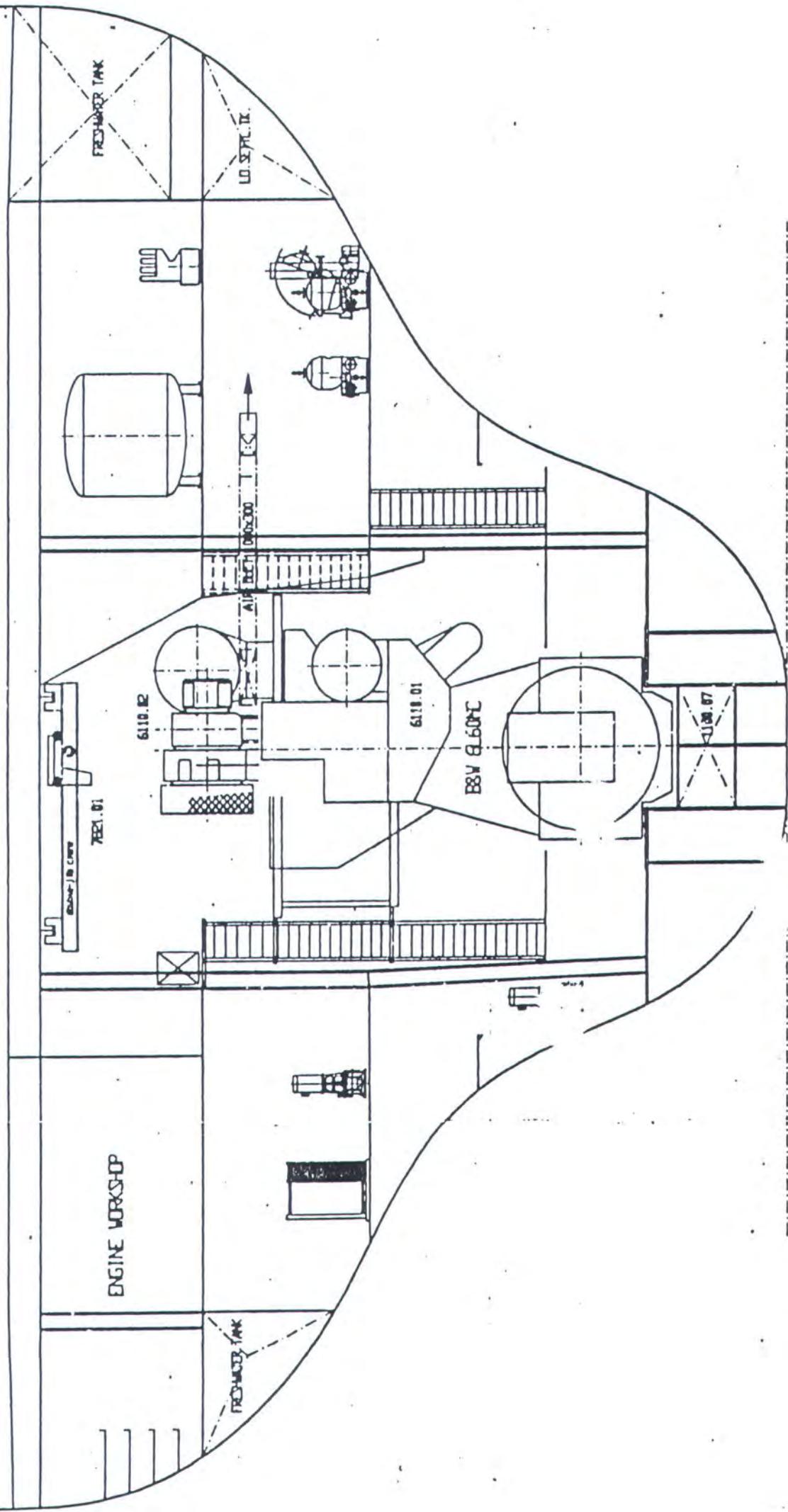
$$= 270 \times 11202.8 \times 169.68 \times 24 \times 1.06$$

$$= 1305 \text{ ton per tahun.}$$

### 3.5 Peletakan Motor Induk di dalam Kamar Mesin

Berikut ini adalah peletakan motor induk pada kamar mesin KM Palwo Buwono 1600 TEU's.





FRAME 30

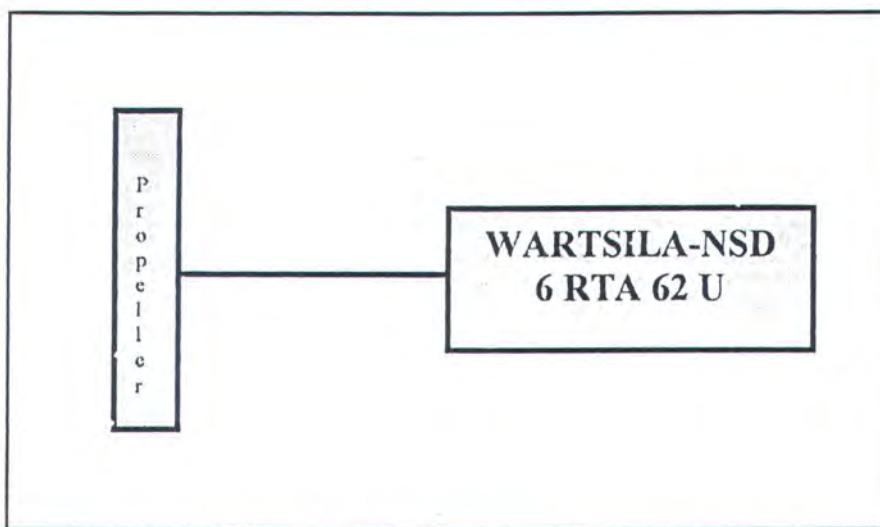
## **BAB IV**

# **ALTERNATIF WARTSILA NSD RTA 62 U**



## BAB IV

### ALTERNATIF WARTSILA-NSD RTA 62 U



Gambar 4-1 Penggerak Alternatif Wartsila 6 RTA 62U

- Low Speed Diesel ( two stroke )
- Fixed Pitch Propeller

#### 4.1 Main Engine

- Merk = Wartsila NSD
- Type = 6 RTA 62 U
- Jenis = Motor diesel dua langkah
- Daya = 13320 KW
- RPM = 113 rpm



- Jumlah silinder = 6 buah (inline)
- Diameter bore = 620 mm
- Panjang stroke = 2150 mm
- SFOC (MCR) = 119 gr/BHP.h
- Bahan bakar = HFO
- Lower calorific value = 10080 kcal/kg
- Panjang motor = 7940 mm
- Lebar motor = 3560 mm
- Tinggi motor = 10100 mm
- Berat motor = 370 ton

Propeller:

- Type = NACA-16
- Diameter = 6200 mm
- Ae/Ao = 0.604
- P/D = 0.794
- Jumlah daun = 4 buah

#### 4.2 Matching Engine Propeller

Dengan menggunakan harga tahanan dan propeller yang sama dengan BAB III maka torsi dan daya propeller pada berbagai rating rpm yang disesuaikan dengan 100 % rating rpm 6 RTA 62 U ( 113 rpm) ditampilkan dalam bentuk tabel berikut:

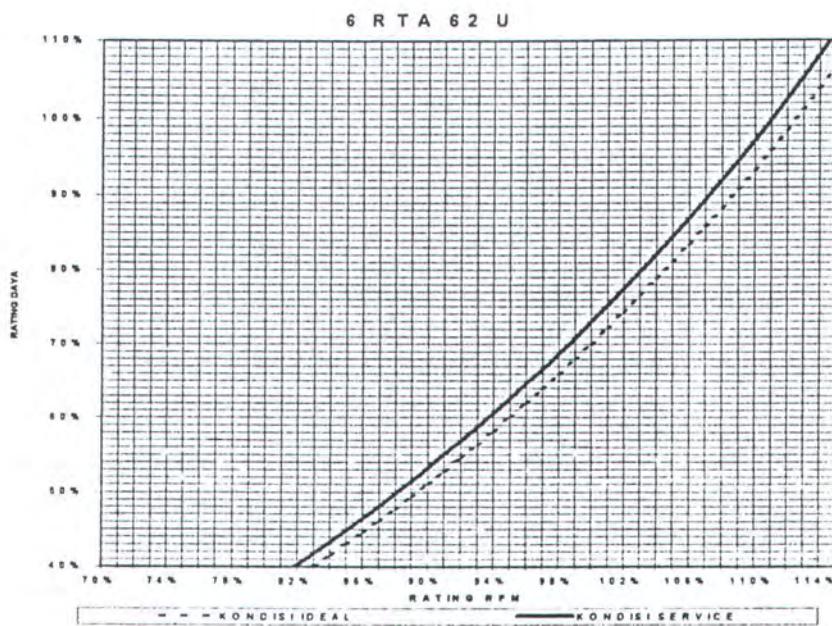




| SERVICE |       |         |        |         |         |        | TRIAL |       |         |       |         |         |        |
|---------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|---------|-------|---------|---------|--------|
| RPM %   | RPM   | KQ      | Q      | DHP     | BHP     | BHP %  | RPM % | RPM   | KQ      | Q     | DHP     | BHP     | BHP %  |
|         |       | KW      | KW     | KW      | KW      | %      |       |       | KW      | KW    | KW      | KW      | %      |
| 70%     | 79.1  | 0.02327 | 379.1  | 3265.9  | 3332.6  | 25.0%  | 70%   | 79.1  | 0.02235 | 364.1 | 3136.8  | 3200.8  | 24.0%  |
| 71%     | 80.2  | 0.02327 | 390.0  | 3407.9  | 3477.4  | 26.1%  | 71%   | 80.2  | 0.02235 | 374.6 | 3273.2  | 3340.0  | 25.1%  |
| 72%     | 81.4  | 0.02327 | 401.1  | 3553.9  | 3626.4  | 27.2%  | 72%   | 81.4  | 0.02235 | 385.2 | 3413.4  | 3483.1  | 26.1%  |
| 73%     | 82.5  | 0.02327 | 412.3  | 3704.1  | 3779.7  | 28.4%  | 73%   | 82.5  | 0.02235 | 396.0 | 3557.6  | 3630.2  | 27.3%  |
| 74%     | 83.6  | 0.02327 | 423.7  | 3858.4  | 3937.1  | 29.6%  | 74%   | 83.6  | 0.02235 | 406.9 | 3705.8  | 3781.5  | 28.4%  |
| 75%     | 84.8  | 0.02327 | 435.2  | 4016.9  | 4098.9  | 30.8%  | 75%   | 84.8  | 0.02235 | 418.0 | 3858.1  | 3936.9  | 29.6%  |
| 76%     | 85.9  | 0.02327 | 446.9  | 4179.8  | 4265.1  | 32.0%  | 76%   | 85.9  | 0.02235 | 429.2 | 4014.5  | 4096.4  | 30.8%  |
| 77%     | 87.0  | 0.02327 | 458.7  | 4346.9  | 4435.6  | 33.3%  | 77%   | 87.0  | 0.02235 | 440.6 | 4175.1  | 4260.3  | 32.0%  |
| 78%     | 88.1  | 0.02327 | 470.7  | 4518.5  | 4610.7  | 34.6%  | 78%   | 88.1  | 0.02235 | 452.1 | 4339.9  | 4428.4  | 33.2%  |
| 79%     | 89.3  | 0.02327 | 482.9  | 4694.5  | 4790.3  | 36.0%  | 79%   | 89.3  | 0.02235 | 463.8 | 4508.9  | 4600.9  | 34.5%  |
| 80%     | 90.4  | 0.02327 | 495.2  | 4875.1  | 4974.6  | 37.3%  | 80%   | 90.4  | 0.02235 | 475.6 | 4682.3  | 4777.9  | 35.9%  |
| 81%     | 91.5  | 0.02327 | 507.6  | 5060.2  | 5163.4  | 38.8%  | 81%   | 91.5  | 0.02235 | 487.6 | 4860.1  | 4959.3  | 37.2%  |
| 82%     | 92.7  | 0.02327 | 520.2  | 5249.9  | 5357.0  | 40.2%  | 82%   | 92.7  | 0.02235 | 499.7 | 5042.3  | 5145.3  | 38.6%  |
| 83%     | 93.8  | 0.02327 | 533.0  | 5444.3  | 5555.4  | 41.7%  | 83%   | 93.8  | 0.02235 | 511.9 | 5229.1  | 5335.8  | 40.1%  |
| 84%     | 94.9  | 0.02327 | 515.9  | 5343.5  | 5758.7  | 43.2%  | 84%   | 94.9  | 0.02235 | 524.3 | 5420.4  | 5531.0  | 41.5%  |
| 85%     | 96.1  | 0.02327 | 559.0  | 5847.5  | 5966.8  | 44.8%  | 85%   | 96.1  | 0.02235 | 536.9 | 5616.3  | 5730.9  | 43.0%  |
| 86%     | 97.2  | 0.02327 | 572.2  | 6056.3  | 6179.9  | 46.4%  | 86%   | 97.2  | 0.02235 | 549.6 | 5816.8  | 5935.5  | 44.6%  |
| 87%     | 98.3  | 0.02327 | 585.6  | 6270.0  | 6398.0  | 48.0%  | 87%   | 98.3  | 0.02235 | 562.5 | 6022.1  | 6145.0  | 46.1%  |
| 88%     | 99.4  | 0.02327 | 599.1  | 6488.7  | 6621.1  | 49.7%  | 88%   | 99.4  | 0.02235 | 575.5 | 6232.2  | 6359.4  | 47.7%  |
| 89%     | 100.6 | 0.02327 | 612.8  | 6712.4  | 6849.4  | 51.4%  | 89%   | 100.6 | 0.02235 | 588.6 | 6447.1  | 6578.6  | 49.4%  |
| 90%     | 101.7 | 0.02327 | 626.7  | 6941.2  | 7082.9  | 53.2%  | 90%   | 101.7 | 0.02235 | 601.9 | 6666.8  | 6802.9  | 51.1%  |
| 91%     | 102.8 | 0.02327 | 640.7  | 7175.2  | 7321.6  | 55.0%  | 91%   | 102.8 | 0.02235 | 615.4 | 6891.5  | 7032.2  | 52.8%  |
| 92%     | 104.0 | 0.02327 | 654.9  | 7414.4  | 7565.7  | 56.8%  | 92%   | 104.0 | 0.02235 | 629.0 | 7121.2  | 7266.5  | 54.6%  |
| 93%     | 105.1 | 0.02327 | 669.2  | 7658.8  | 7815.1  | 58.7%  | 93%   | 105.1 | 0.02235 | 642.7 | 7356.0  | 7506.1  | 56.4%  |
| 94%     | 106.2 | 0.02327 | 683.6  | 7908.5  | 8069.9  | 60.6%  | 94%   | 106.2 | 0.02235 | 656.6 | 7595.8  | 7750.8  | 58.2%  |
| 95%     | 107.4 | 0.02327 | 698.3  | 8163.6  | 8330.2  | 62.5%  | 95%   | 107.4 | 0.02235 | 670.7 | 7840.8  | 8000.8  | 60.1%  |
| 96%     | 108.5 | 0.02327 | 713.0  | 8424.1  | 8596.0  | 64.5%  | 96%   | 108.5 | 0.02235 | 684.8 | 8091.1  | 8256.2  | 62.0%  |
| 97%     | 109.6 | 0.02327 | 728.0  | 8690.1  | 8867.5  | 66.6%  | 97%   | 109.6 | 0.02235 | 699.2 | 8346.5  | 8516.9  | 63.9%  |
| 98%     | 110.7 | 0.02327 | 743.1  | 8961.7  | 9144.5  | 68.7%  | 98%   | 110.7 | 0.02235 | 713.7 | 8607.4  | 8783.0  | 65.9%  |
| 99%     | 111.9 | 0.02327 | 758.3  | 9238.8  | 9427.4  | 70.8%  | 99%   | 111.9 | 0.02235 | 728.3 | 8073.5  | 9054.6  | 68.0%  |
| 100%    | 113.0 | 0.02327 | 773.7  | 9521.6  | 9715.9  | 72.9%  | 100%  | 113.0 | 0.02235 | 743.1 | 9145.2  | 9331.8  | 70.1%  |
| 101%    | 114.1 | 0.02327 | 789.2  | 9810.1  | 10010.3 | 75.2%  | 101%  | 114.1 | 0.02235 | 758.0 | 9422.3  | 9614.6  | 72.2%  |
| 102%    | 115.3 | 0.02327 | 805.0  | 10104.4 | 10310.6 | 77.4%  | 102%  | 115.3 | 0.02235 | 773.1 | 9704.9  | 9903.0  | 74.3%  |
| 103%    | 116.4 | 0.02327 | 820.8  | 10404.5 | 10616.9 | 79.7%  | 103%  | 116.4 | 0.02235 | 788.4 | 9993.2  | 10197.1 | 76.6%  |
| 104%    | 117.5 | 0.02327 | 836.8  | 10710.5 | 10929.1 | 82.1%  | 104%  | 117.5 | 0.02235 | 803.7 | 10287.1 | 10497.0 | 78.8%  |
| 105%    | 118.7 | 0.02327 | 853.0  | 11022.4 | 11247.4 | 84.4%  | 105%  | 118.7 | 0.02235 | 819.3 | 10586.7 | 10802.7 | 81.1%  |
| 106%    | 119.8 | 0.02327 | 869.3  | 11340.4 | 11571.8 | 86.9%  | 106%  | 119.8 | 0.02235 | 835.0 | 10892.0 | 11114.3 | 83.4%  |
| 107%    | 120.9 | 0.02327 | 885.8  | 11664.4 | 11902.4 | 89.4%  | 107%  | 120.9 | 0.02235 | 850.3 | 11203.2 | 11431.9 | 85.8%  |
| 108%    | 122.0 | 0.02327 | 902.4  | 11994.5 | 12239.3 | 91.9%  | 108%  | 122.0 | 0.02235 | 866.8 | 11520.3 | 11755.4 | 88.3%  |
| 109%    | 123.2 | 0.02327 | 919.2  | 12330.8 | 12582.4 | 94.5%  | 109%  | 123.2 | 0.02235 | 882.9 | 11843.2 | 12084.9 | 90.7%  |
| 110%    | 124.3 | 0.02327 | 936.2  | 12673.3 | 12931.9 | 97.1%  | 110%  | 124.3 | 0.02235 | 899.2 | 12172.2 | 12420.6 | 93.2%  |
| 111%    | 125.4 | 0.02327 | 953.3  | 13022.0 | 13287.8 | 99.8%  | 111%  | 125.4 | 0.02235 | 915.6 | 12507.2 | 12762.5 | 95.8%  |
| 112%    | 126.6 | 0.02327 | 970.5  | 13377.2 | 13650.2 | 102.5% | 112%  | 126.6 | 0.02235 | 932.2 | 12848.3 | 13110.5 | 98.4%  |
| 113%    | 127.7 | 0.02327 | 987.9  | 13738.7 | 14019.1 | 105.2% | 113%  | 127.7 | 0.02235 | 948.9 | 13195.5 | 13464.8 | 101.1% |
| 114%    | 128.8 | 0.02327 | 1005.5 | 14106.7 | 14394.6 | 108.1% | 114%  | 128.8 | 0.02235 | 965.7 | 13549.0 | 13825.5 | 103.8% |
| 115%    | 130.0 | 0.02327 | 1023.2 | 14481.2 | 14776.7 | 110.9% | 115%  | 130.0 | 0.02235 | 982.8 | 13908.6 | 14192.5 | 106.6% |

Tabel 4-1 Tabel Torsi, DHP dan BHP terhadap Rpm

Untuk memperjelas akan ditampilkan BHP pada kondisi ideal dan service pada gambar berikut:



Gambar 4-2 Kurva BHP terhadap Rpm

Untuk mencapai kecepatan 19.1 knot pada kondisi ideal dibutuhkan daya sebesar:

$$\text{BHP} = 9522.38 \text{ kW}$$

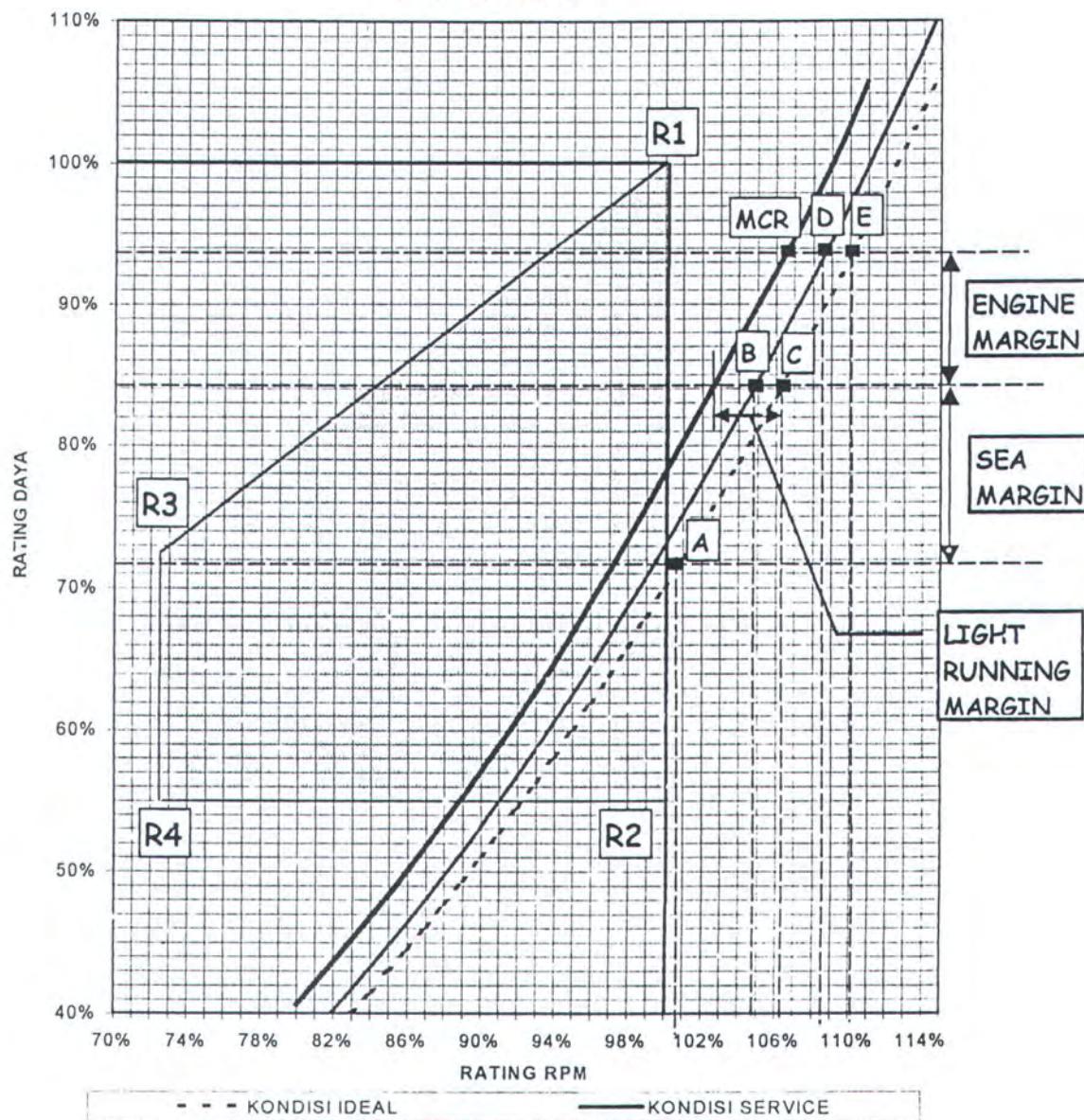
$$\text{BHPscr} = 11202.8 \text{ kW}$$

$$\text{BHPmcr} = 12447.5 \text{ kW}$$

Berikut ini adalah hasil penggambaran kurva propeller ke dalam karakteristik motor induk.



## 6 RTA 62 U



Gambar 4-3 Engine Layout

|     | KONDISI | DAYA (kW) | % DAYA | RPM    | % RPM   | V <sub>s</sub> (KNOT) |
|-----|---------|-----------|--------|--------|---------|-----------------------|
| A   | TRIAL   | 9522.38   | 71.49% | 114    | 100.88% | 19.1                  |
| B   | SERVICE | 11202.8   | 84.11% | 118.5  | 104.87% | 19.1                  |
| C   | TRIAL   | 11202.8   | 84.11% | 120.2  | 106.37% | 20.07                 |
| D   | SERVICE | 12447.56  | 93.45% | 122.8  | 108.67% | 19.8                  |
| E   | TRIAL   | 12447.56  | 93.45% | 124.4  | 110.09% | 20.77                 |
| SCR |         | 11202.8   | 84.11% | 122.8  | 108.67% |                       |
| MCR |         | 12447.56  | 93.45% | 120.05 | 106.24% |                       |

|           | R1    | R2   | R3   | R4   |
|-----------|-------|------|------|------|
| DAYA (kW) | 13320 | 7320 | 9660 | 7320 |
| RPM       | 113   | 113  | 82   | 82   |



Berdasarkan proses matching diatas dapat dilihat bahwa untuk mencapai kecepatan kapal 19.1 knot pada kondisi service (titik B dan C) serta kondisi MCR ( titik D dan titik E ) berada di luar daerah yang diijinkan oleh motor induk sehingga dikatakan bahwa engine dan propeller tidak match.

Selanjutnya akan dilakukan pemilihan propeller yang lain agar sesuai dengan kecepatan kapal yang diinginkan. Pemilihan propeller ini dengan menggunakan  $B_p$ - $\delta$  diagram dari propeller B-series untuk type B.4.40, B.4.55, B.4.70. Putaran propeller yang dinginkan adalah 110 rpm dengan kecepatan kapal 19.1 knot dibutuhkan daya sebesar 15460.76 HP. Harga-harga  $\delta$ ,  $\eta$  propeller, diameter, dan P/D diperoleh dari harga  $B_p$  dan garis optimal yang ada pada  $B_p$ - $\delta$  diagram. Hasil selengkapnya dilihat pada tabel berikut:

| Type | $V_s$<br>knot | $V_a$<br>m/s | $V_a$<br>m/s | EHP<br>kW | EHP<br>HP | DHP<br>HP | RPM | $B_p$<br>1 | $\delta_o$<br>2 | $\delta$<br>3 | D<br>ft | D<br>m | P/D  | $\eta_o$<br>5 |
|------|---------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----|------------|-----------------|---------------|---------|--------|------|---------------|
| 4.40 | 19.1          | 12.12        | 6.235        | 7415.53   | 10082.30  | 15460.76  | 110 | 26.75      | 204             | 195.84        | 21.58   | 6.58   | 0.79 | 0.615         |
| 4.55 | 19.1          | 12.12        | 6.235        | 7415.53   | 10082.30  | 15460.76  | 110 | 26.75      | 197             | 189.12        | 20.84   | 6.35   | 0.86 | 0.582         |
| 4.70 | 19.1          | 12.12        | 6.235        | 7415.53   | 10082.30  | 15460.76  | 110 | 26.75      | 194             | 186.24        | 20.52   | 6.25   | 0.90 | 0.576         |

Tabel 4-2 Tabel pemilihan propeller pengganti.

Keterangan:

1.  $B_p = n \frac{\sqrt{D \cdot H_p}}{V_a^{2.5}}$
2.  $\delta_o$  diperoleh dari  $B_p$ - $\delta$  diagram  $\delta = \frac{n \times D}{V_a}$
3.  $\delta = 0.96 \times \delta_o$
4. P/D diperoleh dari  $B_p$ - $\delta$  diagram
5.  $\eta$  diperoleh dari  $B_p$ - $\delta$  diagram



Persyaratan diameter propeller maksimal adalah sebesar  $0.7 T = 6.79 \text{ m}$ .

Diameter ketiga propeller diatas memenuhi persyaratan tersebut, selanjutnya diadakan pemeriksaan kavitas dengan menggunakan formula Burriel, untuk menghindari kavitas maka harga  $Ae/Ao$  dari propeller yang digunakan haruslah lebih besar dari harga  $Ae/Ao$  yang disyaratkan oleh Burriel:

$$\frac{Ae}{Ao} = \frac{THP}{Ao \left( 1.067 - 0.229 \frac{P}{D} \right) \times (0.3\sigma_{0.7R} - 0.03) \times q_{0.7R}}$$

Perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

| Type | V <sub>a</sub> | P/D  | D    | (P <sub>o</sub> - P <sub>v</sub> ) | q <sub>0.7R</sub> | σ <sub>0.7R</sub> | Ao    | Ae/Ao<br>minimal |
|------|----------------|------|------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------|------------------|
|      | m/s            |      | m    | N/m <sup>2</sup>                   |                   |                   |       |                  |
| 4.40 | 6.235          | 0.79 | 6.58 | 173076.34                          | 20446.23          | 8.46              | 33.97 | 0.47             |
| 4.55 | 6.235          | 0.86 | 6.35 | 173076.34                          | 20093.77          | 8.61              | 31.68 | 0.51             |
| 4.70 | 6.235          | 0.90 | 6.25 | 173076.34                          | 19940.81          | 8.68              | 30.72 | 0.53             |

Tabel 4-3 Kriteria kavitas Burriel

Keterangan:

- $P_o - P_v = 99.6 + 10.05 \times (T - E - 0.0075Lpp)$
- $\sigma_{0.7R} = \frac{P_o - P_v}{q_{0.7R}}$
- $q_{0.7R} = 0.5 \times \rho \times \sqrt{V_a^2 + (0.7 \times \pi \times D)^2}$
- $Ao = 0.25 \times \pi \times D^2$
- $\frac{Ae}{Ao} = \frac{THP}{Ao \left( 1.067 - 0.229 \frac{P}{D} \right) \times (0.3\sigma_{0.7R} - 0.03) \times q_{0.7R}}$



Dari kedua tabel diatas maka digunakan propeller type B.4.55 karna memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari B.4.70 sedangkan type B.4.40 tidak memenuhi persyaratan kavitas.

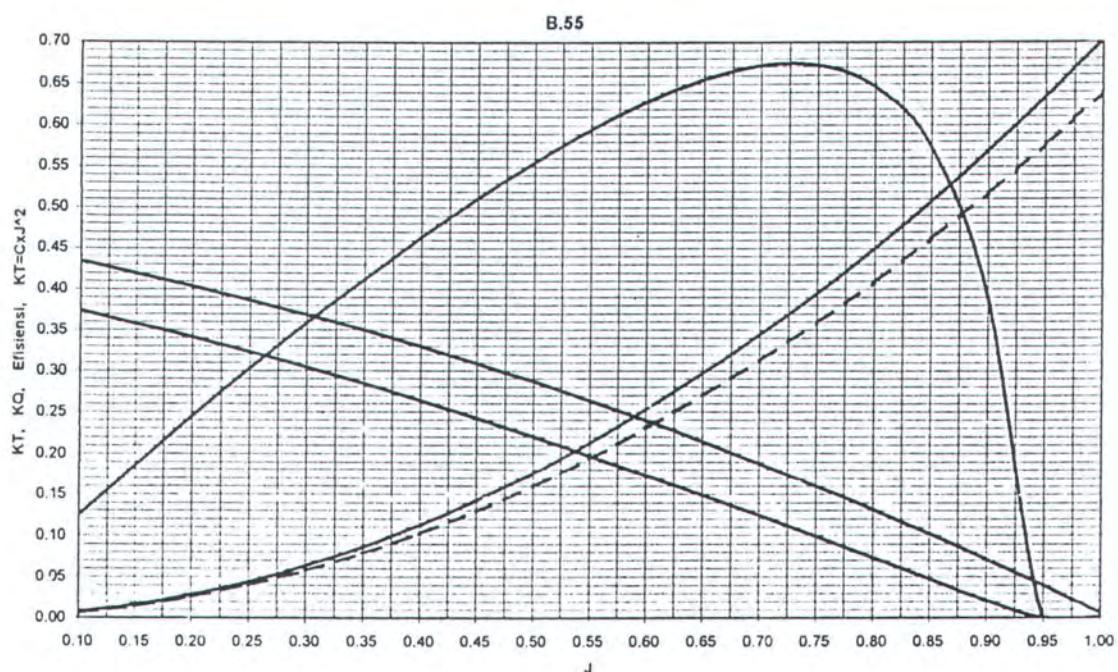
Data Propeller:

- Type : B-Series
- Jumlah daun : 4 buah
- Diameter : 6.35 m
- Ac/Ao : 0.55
- P/D : 0.86

Karakteristik propeller diperoleh dari program “Calculating of Open Water” milik UPT Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, BPPT, Surabaya.

| J    | KT-0   | KQ-O    | Efisiensi | J    | KT-0   | KQ-O    | Efisiensi |
|------|--------|---------|-----------|------|--------|---------|-----------|
| 0.10 | 0.3396 | 0.04342 | 0.12      | 0.60 | 0.1576 | 0.02393 | 0.63      |
| 0.15 | 0.3252 | 0.04192 | 0.19      | 0.65 | 0.1356 | 0.02141 | 0.66      |
| 0.20 | 0.3099 | 0.04032 | 0.24      | 0.70 | 0.1131 | 0.01878 | 0.67      |
| 0.25 | 0.2936 | 0.03863 | 0.30      | 0.75 | 0.0902 | 0.01604 | 0.67      |
| 0.30 | 0.2764 | 0.03684 | 0.36      | 0.80 | 0.0669 | 0.01318 | 0.65      |
| 0.35 | 0.2584 | 0.03494 | 0.41      | 0.85 | 0.0433 | 0.01022 | 0.57      |
| 0.40 | 0.2396 | 0.03295 | 0.46      | 0.90 | 0.0194 | 0.00714 | 0.39      |
| 0.45 | 0.2201 | 0.03085 | 0.51      | 0.95 | 0.0000 | 0.00394 | 0.00      |
| 0.50 | 0.1999 | 0.02865 | 0.56      | 1.00 | 0.0000 | 0.00062 | 0.00      |
| 0.55 | 0.1790 | 0.02635 | 0.59      |      |        |         |           |

Tabel 4-4 Karakteristik Propeller



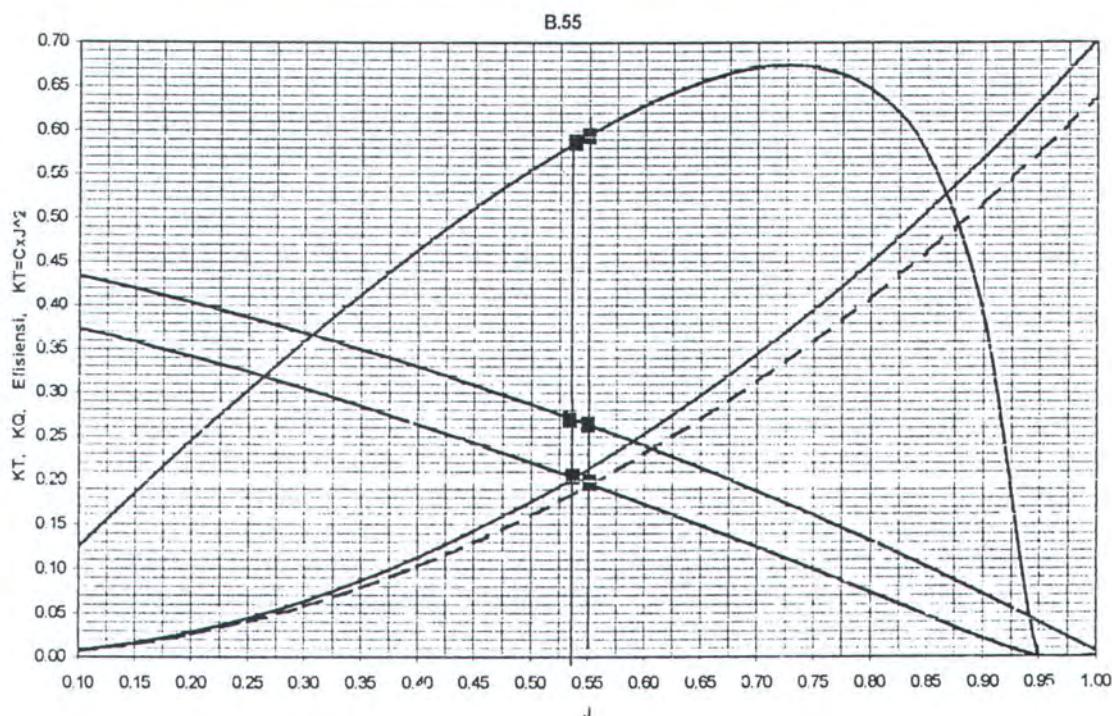
Gambar 4-4 KT-KQ Diagram

| KONDISI IDEAL |        |        |          | KONDISI SERVICE |         |        |          |
|---------------|--------|--------|----------|-----------------|---------|--------|----------|
| J             | C2     | J2     | C2 x J2  | J               | C2      | J2     | C2 x J2  |
| 0.000         | 0.6105 | 0.0000 | 0.000000 | 0.000           | 0.70209 | 0.0000 | 0.000000 |
| 0.050         | 0.6105 | 0.0025 | 0.00156  | 0.050           | 0.70209 | 0.0025 | 0.00176  |
| 0.100         | 0.6105 | 0.0100 | 0.00623  | 0.100           | 0.70209 | 0.0100 | 0.00702  |
| 0.150         | 0.6105 | 0.0225 | 0.01401  | 0.150           | 0.70209 | 0.0225 | 0.01580  |
| 0.200         | 0.6105 | 0.0400 | 0.02491  | 0.200           | 0.70209 | 0.0400 | 0.02808  |
| 0.250         | 0.6105 | 0.0625 | 0.03892  | 0.250           | 0.70209 | 0.0625 | 0.04388  |
| 0.300         | 0.6105 | 0.0900 | 0.05604  | 0.300           | 0.70209 | 0.0900 | 0.06319  |
| 0.350         | 0.6105 | 0.1225 | 0.07628  | 0.350           | 0.70209 | 0.1225 | 0.08601  |
| 0.400         | 0.6105 | 0.1600 | 0.09963  | 0.400           | 0.70209 | 0.1600 | 0.11233  |
| 0.450         | 0.6105 | 0.2025 | 0.12610  | 0.450           | 0.70209 | 0.2025 | 0.14217  |
| 0.500         | 0.6105 | 0.2500 | 0.15568  | 0.500           | 0.70209 | 0.2500 | 0.17552  |
| 0.550         | 0.6105 | 0.3025 | 0.18837  | 0.550           | 0.70209 | 0.3025 | 0.21238  |
| 0.600         | 0.6105 | 0.3600 | 0.22418  | 0.600           | 0.70209 | 0.3600 | 0.25275  |
| 0.650         | 0.6105 | 0.4225 | 0.26309  | 0.650           | 0.70209 | 0.4225 | 0.29663  |
| 0.700         | 0.6105 | 0.4900 | 0.30513  | 0.700           | 0.70209 | 0.4900 | 0.34402  |
| 0.750         | 0.6105 | 0.5625 | 0.35027  | 0.750           | 0.70209 | 0.5625 | 0.39493  |
| 0.800         | 0.6105 | 0.6400 | 0.39853  | 0.800           | 0.70209 | 0.6400 | 0.44934  |
| 0.850         | 0.6105 | 0.7225 | 0.44991  | 0.850           | 0.70209 | 0.7225 | 0.50726  |
| 0.864         | 0.6105 | 0.7465 | 0.46485  | 0.864           | 0.70209 | 0.7465 | 0.52411  |

Tabel 4-5  $Kt = C_2 \times J^2$  pada berbagai harga J



Hasil penggambaran kurva  $Kt = C \times J^2$  pada  $Kt-Kq$  diagram diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4-5 Perpotongan kurva  $KT = C \times J^2$  dengan  $KT-KQ$  diagram

Berdasarkan gambar diatas diketahui besarnya koefisien-koefisien sebagai berikut:

|         | J      | KT     | KQ      | EFISIENSI |
|---------|--------|--------|---------|-----------|
| SERVICE | 0.5343 | 0.2019 | 0.02702 | 0.57      |
| TRIAL   | 0.5519 | 0.1943 | 0.02587 | 0.59      |

Dengan mengetahui harga-harga diatas maka dapat dihitung besarnya daya yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan 19.1 knot.





$$\text{BHP} = \frac{7415.546}{\left(\frac{1-0.19}{1-0.3654}\right) \times 0.59 \times 0.98}$$

$$\text{BHP} = 9608.36 \text{ kW} \quad (\text{trial})$$

Pada kondisi service:

$$\text{BHP ideal} = 85\% \text{ BHP scr}$$

$$\text{BHPscr} = 11303.95 \text{ kW}$$

Pada kondisi MCR :

$$\text{BHPscr} = 90\% \text{ BHPmcr}$$

$$\text{BHPmcr} = 12559.95 \text{ kW}$$

Kebutuhan torsi dan daya pada berbagai rating rpm yang disesuaikan dengan 100 % rating rpm 6 RTA 62 U ( 113 rpm) ditampilkan dalam bentuk tabel berikut:





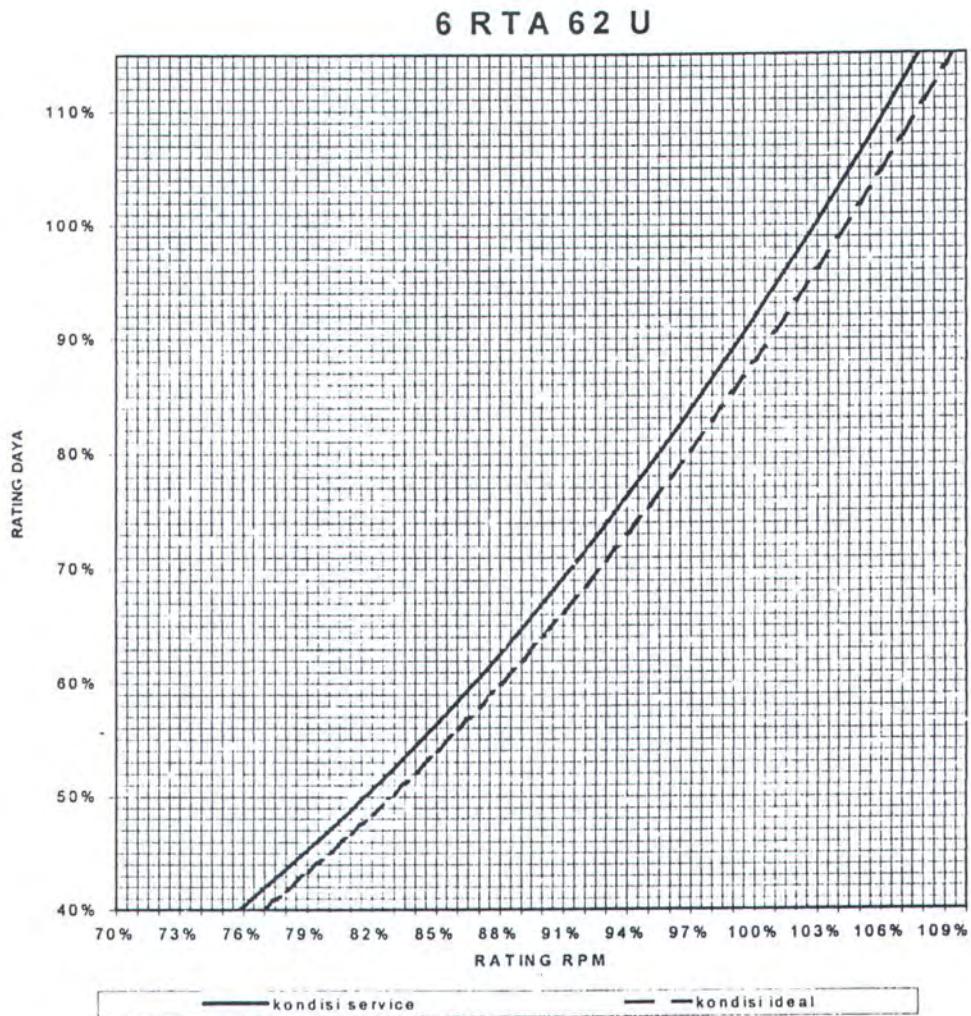
## 6 RTA 62 U

| SERVICE |       |         |        |         |         |        |       | TRIAL |         |        |         |         |        |       |     |
|---------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|-----|
| RPM %   | RPM   | KQ      | Q      | DHP     | BHP     | BHP %  | RPM % | RPM   | KQ      | Q      | DHP     | BHP     | BHP %  | RPM % | RPM |
|         |       |         | KW     | KW      | KW      | %      |       |       |         | KW     | KW      | KW      | %      |       |     |
| 70%     | 79.1  | 0.02702 | 496.1  | 4109.3  | 4193.2  | 31.5%  | 70%   | 79.1  | 0.02587 | 475.0  | 3934.4  | 4014.7  | 30.1%  |       |     |
| 71%     | 80.2  | 0.02702 | 510.4  | 4288.0  | 4375.5  | 32.8%  | 71%   | 80.2  | 0.02587 | 488.6  | 4105.5  | 4189.2  | 31.5%  |       |     |
| 72%     | 81.4  | 0.02702 | 524.8  | 4471.7  | 4563.0  | 34.3%  | 72%   | 81.4  | 0.02587 | 502.5  | 4281.4  | 4368.8  | 32.8%  |       |     |
| 73%     | 82.5  | 0.02702 | 539.5  | 4660.6  | 4755.7  | 35.7%  | 73%   | 82.5  | 0.02587 | 516.6  | 4462.3  | 4553.3  | 34.2%  |       |     |
| 74%     | 83.6  | 0.02702 | 554.4  | 4854.8  | 4953.9  | 37.2%  | 74%   | 83.6  | 0.02587 | 530.8  | 4648.2  | 4743.0  | 35.6%  |       |     |
| 75%     | 84.8  | 0.02702 | 569.5  | 5054.3  | 5157.4  | 38.7%  | 75%   | 84.8  | 0.02587 | 545.3  | 4839.2  | 4937.9  | 37.1%  |       |     |
| 76%     | 85.9  | 0.02702 | 584.8  | 5259.2  | 5366.5  | 40.3%  | 76%   | 85.9  | 0.02587 | 559.9  | 5035.3  | 5138.1  | 38.6%  |       |     |
| 77%     | 87.0  | 0.02702 | 600.3  | 5469.5  | 5581.1  | 41.9%  | 77%   | 87.0  | 0.02587 | 574.7  | 5236.7  | 5343.6  | 40.1%  |       |     |
| 78%     | 88.1  | 0.02702 | 616.0  | 5685.4  | 5801.4  | 43.6%  | 78%   | 88.1  | 0.02587 | 589.8  | 5443.4  | 5554.5  | 41.7%  |       |     |
| 79%     | 89.3  | 0.02702 | 631.9  | 5906.9  | 6027.4  | 45.3%  | 79%   | 89.3  | 0.02587 | 605.0  | 5655.5  | 5770.9  | 43.3%  |       |     |
| 80%     | 90.4  | 0.02702 | 648.0  | 6134.0  | 6259.2  | 47.0%  | 80%   | 90.4  | 0.02587 | 620.4  | 5873.0  | 5992.8  | 45.0%  |       |     |
| 81%     | 91.5  | 0.02702 | 664.3  | 6366.9  | 6496.9  | 48.8%  | 81%   | 91.5  | 0.02587 | 636.0  | 6096.0  | 6220.4  | 46.7%  |       |     |
| 82%     | 92.7  | 0.02702 | 680.8  | 6605.7  | 6740.5  | 50.6%  | 82%   | 92.7  | 0.02587 | 651.8  | 6324.5  | 6453.6  | 48.5%  |       |     |
| 83%     | 93.8  | 0.02702 | 697.5  | 6850.3  | 6990.1  | 52.5%  | 83%   | 93.8  | 0.02587 | 667.8  | 6558.8  | 6692.6  | 50.2%  |       |     |
| 84%     | 94.9  | 0.02702 | 714.4  | 7100.9  | 7245.8  | 54.4%  | 84%   | 94.9  | 0.02587 | 684.0  | 6799.7  | 6937.4  | 52.1%  |       |     |
| 85%     | 96.1  | 0.02702 | 731.5  | 7357.5  | 7507.7  | 56.4%  | 85%   | 96.1  | 0.02587 | 700.4  | 7044.4  | 7188.2  | 54.0%  |       |     |
| 86%     | 97.2  | 0.02702 | 748.8  | 7620.3  | 7775.8  | 58.4%  | 86%   | 97.2  | 0.02587 | 716.9  | 7296.0  | 7444.9  | 55.9%  |       |     |
| 87%     | 98.3  | 0.02702 | 766.3  | 7889.2  | 8050.2  | 60.4%  | 87%   | 98.3  | 0.02587 | 733.7  | 7553.4  | 7707.6  | 57.9%  |       |     |
| 88%     | 99.4  | 0.02702 | 784.0  | 8164.4  | 8331.0  | 62.5%  | 88%   | 99.4  | 0.02587 | 750.7  | 7816.9  | 7976.4  | 59.9%  |       |     |
| 89%     | 100.6 | 0.02702 | 802.0  | 8445.9  | 8618.3  | 64.7%  | 89%   | 100.6 | 0.02587 | 767.8  | 8086.4  | 8251.5  | 61.9%  |       |     |
| 90%     | 101.7 | 0.02702 | 820.1  | 8733.8  | 8912.0  | 66.9%  | 90%   | 101.7 | 0.02587 | 785.2  | 8362.1  | 8532.7  | 64.1%  |       |     |
| 91%     | 102.8 | 0.02702 | 838.4  | 9028.2  | 9212.4  | 69.2%  | 91%   | 102.8 | 0.02587 | 802.7  | 8643.9  | 8820.3  | 66.2%  |       |     |
| 92%     | 104.0 | 0.02702 | 856.9  | 9329.1  | 9519.5  | 71.5%  | 92%   | 104.0 | 0.02587 | 820.5  | 8932.0  | 9114.3  | 68.4%  |       |     |
| 93%     | 105.1 | 0.02702 | 875.7  | 9636.6  | 9833.3  | 73.8%  | 93%   | 105.1 | 0.02587 | 838.4  | 9226.5  | 9414.8  | 70.7%  |       |     |
| 94%     | 106.2 | 0.02702 | 894.6  | 9950.8  | 10153.9 | 76.2%  | 94%   | 106.2 | 0.02587 | 856.5  | 9527.3  | 9721.8  | 73.0%  |       |     |
| 95%     | 107.4 | 0.02702 | 913.7  | 10271.8 | 10481.4 | 78.7%  | 95%   | 107.4 | 0.02587 | 874.8  | 9834.6  | 10035.3 | 75.3%  |       |     |
| 96%     | 108.5 | 0.02702 | 933.1  | 10599.6 | 10815.9 | 81.2%  | 96%   | 108.5 | 0.02587 | 893.4  | 10148.5 | 10355.6 | 77.7%  |       |     |
| 97%     | 109.6 | 0.02702 | 952.6  | 10934.3 | 11157.5 | 83.8%  | 97%   | 109.6 | 0.02587 | 912.1  | 10468.9 | 10682.6 | 80.2%  |       |     |
| 98%     | 110.7 | 0.02702 | 972.3  | 11276.0 | 11506.1 | 86.4%  | 98%   | 110.7 | 0.02587 | 931.0  | 10796.1 | 11016.4 | 82.7%  |       |     |
| 99%     | 111.9 | 0.02702 | 992.3  | 11624.7 | 11861.9 | 89.1%  | 99%   | 111.9 | 0.02587 | 950.1  | 11129.9 | 11357.1 | 85.3%  |       |     |
| 100%    | 113.0 | 0.02702 | 1012.4 | 11980.5 | 12225.0 | 91.8%  | 100%  | 113.0 | 0.02587 | 969.3  | 11470.6 | 11704.7 | 87.9%  |       |     |
| 101%    | 114.1 | 0.02702 | 1032.8 | 12343.5 | 12595.5 | 94.6%  | 101%  | 114.1 | 0.02587 | 988.8  | 11818.2 | 12059.4 | 90.5%  |       |     |
| 102%    | 115.3 | 0.02702 | 1053.3 | 12713.8 | 12973.3 | 97.4%  | 102%  | 115.3 | 0.02587 | 1008.5 | 12172.7 | 12421.1 | 93.3%  |       |     |
| 103%    | 116.4 | 0.02702 | 1074.1 | 13091.4 | 13358.6 | 100.3% | 103%  | 116.4 | 0.02587 | 1028.4 | 12534.3 | 12790.1 | 96.0%  |       |     |
| 104%    | 117.5 | 0.02702 | 1095.1 | 13476.5 | 13751.5 | 103.2% | 104%  | 117.5 | 0.02587 | 1048.4 | 12902.9 | 13166.2 | 98.8%  |       |     |
| 105%    | 118.7 | 0.02702 | 1116.2 | 13869.0 | 14152.0 | 106.2% | 105%  | 118.7 | 0.02587 | 1068.7 | 13278.7 | 13549.7 | 101.7% |       |     |
| 106%    | 119.8 | 0.02702 | 1137.6 | 14269.0 | 14560.2 | 109.3% | 106%  | 119.8 | 0.02587 | 1089.2 | 13661.7 | 13940.5 | 104.7% |       |     |
| 107%    | 120.9 | 0.02702 | 1159.1 | 14676.7 | 14976.2 | 112.4% | 107%  | 120.9 | 0.02587 | 1109.8 | 14052.0 | 14338.8 | 107.6% |       |     |
| 108%    | 122.0 | 0.02702 | 1180.9 | 15092.0 | 15400.0 | 115.6% | 108%  | 122.0 | 0.02587 | 1130.6 | 14449.7 | 14744.6 | 110.7% |       |     |
| 109%    | 123.2 | 0.02702 | 1202.9 | 15515.1 | 15831.8 | 118.9% | 109%  | 123.2 | 0.02587 | 1151.7 | 14854.8 | 15157.9 | 113.8% |       |     |
| 110%    | 124.3 | 0.02702 | 1225.1 | 15946.1 | 16271.5 | 122.2% | 110%  | 124.3 | 0.02587 | 1172.9 | 15267.4 | 15579.0 | 117.0% |       |     |

Tabel 4-6 Torsi, DHP dan BHP terhadap Rpm

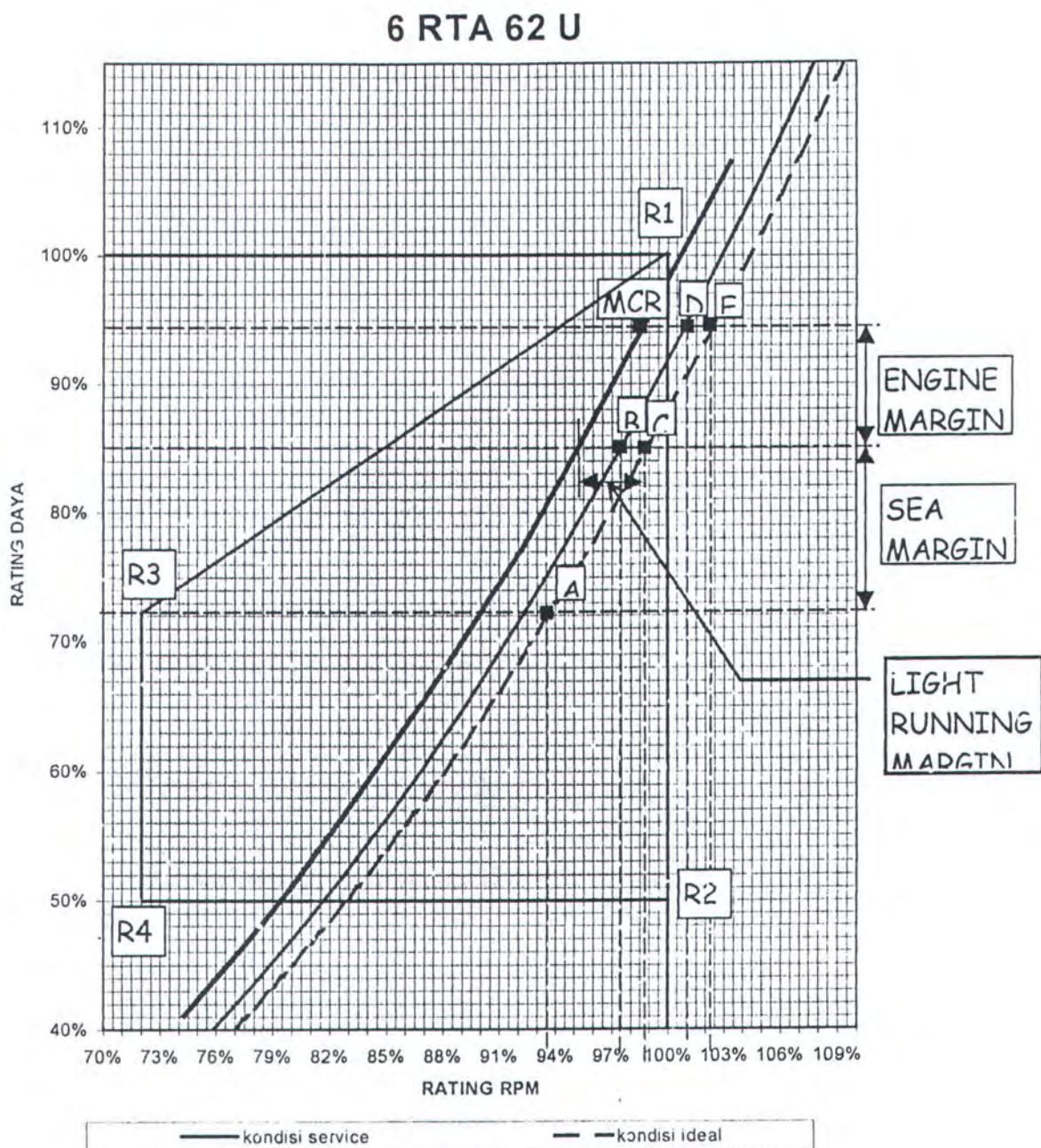


Untuk memperjelas akan ditampilkan kebutuhan daya pada kondisi ideal dan service pada gambar berikut:



Gambar 4-6 Kurva BHP terhadap rpm

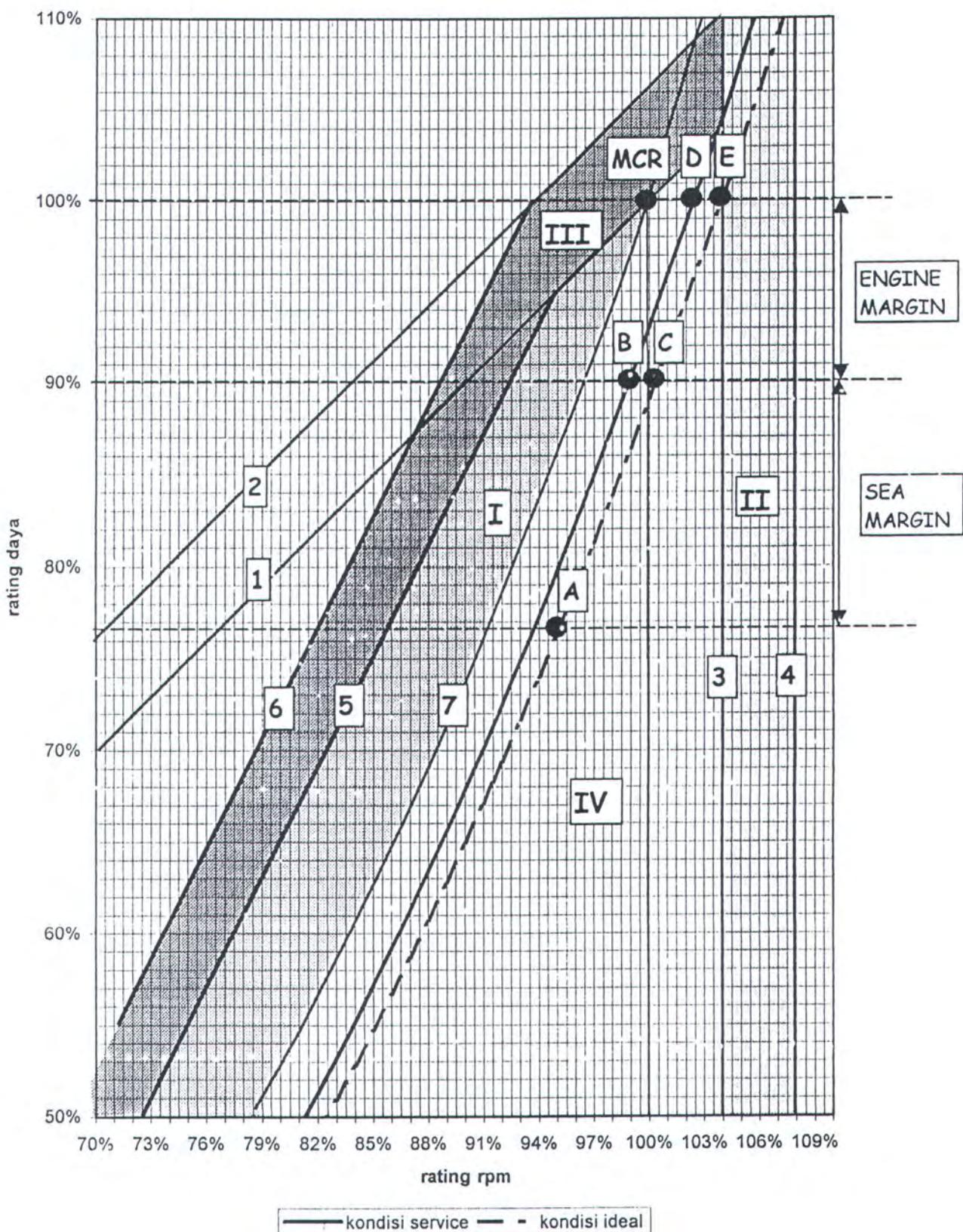
Dalam proses matching karakteristik motor induk sangatlah diperlukan untuk mengetahui kondisi kerja motor induk dan hasil penggambaran kurva beban propeller ke dalam karakteristik motor induk. Berikut ini adalah hasil penggambaran kurva propeller ke dalam karakteristik motor induk.



Gambar 4-7 Engine Layout Diagram 6 RTA 62 U

| KONDISI   | DAYA (KW) | % DAYA | RPM   | % RPM  | V <sub>s</sub> (KNOT) |
|-----------|-----------|--------|-------|--------|-----------------------|
| A TRIAL   | 9608.36   | 72.1%  | 105.7 | 93.5%  | 19.1                  |
| B SERVICE | 11303.95  | 84.9%  | 110.1 | 97.4%  | 19.1                  |
| C TRIAL   | 11303.95  | 84.9%  | 111.5 | 98.7%  | 19.88                 |
| D SERVICE | 12559.95  | 94.3%  | 114.1 | 101.0% | 19.97                 |
| E TRIAL   | 12559.95  | 94.3%  | 115.5 | 102.2% | 20.16                 |
| SCR       | 11303.95  | 84.9%  | 110.1 | 97.4%  |                       |
| MCR       | 12559.95  | 94.3%  | 111.3 | 98.5%  |                       |

|           | R1    | R2   | R3   | R4   |
|-----------|-------|------|------|------|
| DAYA (KW) | 13320 | 7320 | 9660 | 7320 |
| RPM       | 113   | 113  | 82   | 82   |



Gambar 4-8 Engine Load Diagram



Keterangan gambar:

- Garis 1: garis *constant BMEP* melalui maximum continuous rating dari 100% daya dan 100% rpm hingga 95% daya dan 95% rpm. *Daerah diatas garis 1 adalah overload range* dimana motor hanya diijinkan untuk bekerja selama maksimum satu jam selama sea trial.
- Garis 2 : garis *overload limit* sejajar dengan garis 1 dari 110% daya dan 103 % rpm hingga 100% daya dan 94% rpm.
- Garis 3 : batas 104 % rpm *overspeed range*.
- Garis 4 : batas *overspeed limit* pada 108% rpm. Batasan antara *104% rpm dan 108% rpm* hanya diijinkan *pada sea trial untuk mendemonstrasikan kecepatan kapal dalam kondisi maksimum continuous rating*.
- Garis 5 : 95% daya dan 95% rpm hingga 45% daya dan 70% rpm. Apabila melampaui garis ini motor akan *mengalami kekurangan pasokan udara pembilasan*.
- Garis 6 : Sejajar dengan garis 5 memotong 100% daya dan 94 % speed.
- Garis 7 : Nominal propeller characteristic sejajar dengan propeller karakteristic pada kondisi ideal/trial bergeser ke kiri sebesar light running margin.
- Daerah I : disebut *service range with operational time limit* yaitu daerah antara garis 5 dan garis 6 ini dianjurkan hanya digunakan dalam batas waktu tertentu misalnya dalam fast acceleration.



- **Daerah II** : disebut *overspeed range* hingga overspeed limit pada garis 4 (108% rating rpm). Pada overspeed dianjurkan hanya digunakan dalam batas waktu tertentu dengan persyaratan getaran yang ketat.
- **Daerah III** : *Overload* 110% engine torsi maksimum satu jam dalam sea trial.
- **Daerah IV** : daerah antara nominal propeller characteristic 100% daya dan garis 3 ini *direkomendasikan bagi continuous operation.*
- **Engine Margin** : margin yang diberikan untuk menyediakan daya yang lebih besar bagi keperluan-keperluan tertentu dan darurat, *merupakan selisih antara MCR dan SCR* dalam tugas akhir ini digunakan engine margin sebesar 10% atau  $SCR = 90\% MCR$ .
- **Sea Margin** : margin yang diberikan untuk mengatasi penambahan tahanan pada badan kapal yang disebabkan oleh pengotoran hull, kondisi cuaca dan perairan dalam tugas akhir ini *sea margin diberikan sebesar 15%* atau *kondisi ideal = 85% kondisi service.*
- **Light Running Margin** : margin sebesar 3% – 7% ( digunakan sebesar 3.5%) yang diberikan untuk mengatasi permasalahan berikut ini:
  - 1) Pengotoran hull dan propeller kapal.
  - 2) Pengaruh cuaca dan angin
  - 3) Penurunan efisiensi propeller kapal yang disebabkan penambahan kekasaran permukaan propeller
  - 4) Penurunan efisiensi motor induk yang disebabkan oleh pengotoran pendingin udara pembilasan (scavange air cooler), pengotoran turbocharger, kondisi ring piston yang memburuk,



kondisi fuel injection sistem, semua hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan dan umur motor induk.

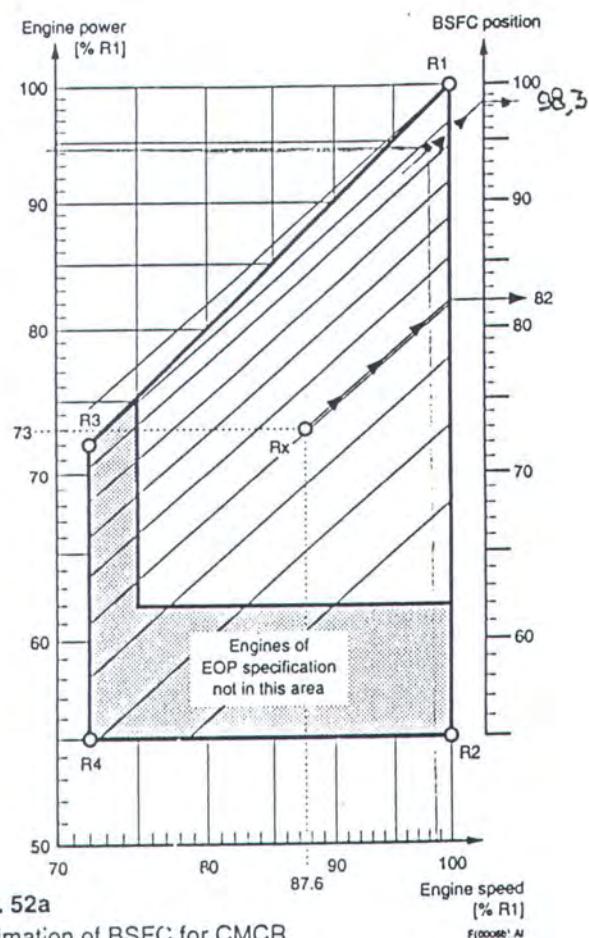
Dengan melihat pada gambar 4-7 dan gambar 4-8 dapat disimpulkan kondisi service kapal telah berada pada daerah yang diijinkan oleh engine untuk beroperasi secara continuous sebab titik A dan B (dimana kecepatan kapal sesuai dengan rencana kecepatan service kapal 19,1 knot) dan MCR berada pada engine envelope.

#### 4.3 Konsumsi Bahan Bakar

Setelah mengetahui kondisi operasi yang ada maka selanjutnya diadakan estimasi SFOC yang dilakukan berdasarkan *project guide Wartsila NSD RTA 62 U*. Estimasi SFOC dilakukan berdasarkan pada konsumsi bahan bakar pada MCR kemudian dilakukan SFOC pada SCR. Dari proses matching diperoleh hasil berikut:

| KONDISI   | DAYA (kW) | % DAYA | RPM   | % RPM  | Vs (KNOT) |           | R1    | R2   | R3   | R4   |
|-----------|-----------|--------|-------|--------|-----------|-----------|-------|------|------|------|
| A TRIAL   | 9608.36   | 72.1%  | 105.7 | 93.5%  | 19.1      | DAYA (kW) | 13320 | 7320 | 9660 | 7320 |
| B SERVICE | 11303.95  | 84.9%  | 110.1 | 97.4%  | 19.1      | RPM       | 113   | 113  | 82   | 82   |
| C TRIAL   | 11303.95  | 84.9%  | 111.5 | 98.7%  | 19.88     |           |       |      |      |      |
| D SERVICE | 12559.95  | 94.3%  | 114.1 | 101.0% | 19.97     |           |       |      |      |      |
| E TRIAL   | 12559.95  | 94.3%  | 115.5 | 102.2% | 20.16     |           |       |      |      |      |
| SCR       | 11303.95  | 84.9%  | 110.1 | 97.4%  |           |           |       |      |      |      |
| MCR       | 12559.95  | 94.3%  | 111.3 | 98.5%  |           |           |       |      |      |      |

SFOC diketahui dengan menggunakan gambar yang tersedia pada project guide, langkah pertama adalah dengan menggambarkan sebuah titik yang sesuai dengan daya MCR= 12559.95kW (94.3% R1) dan putaran MCR = 111.3 rpm (98.5%R1):



Dari gambar tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

SFOC pada posisi : 98.3

Dari tabel berikut diperoleh:

| Brake specific fuel consumption (BSFC) |                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | BSFC position (according to Fig. 52a) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | 100                                   | 98    | 96    | 94    | 92    | 90    | 87.5  | 85    | 82.5  | 80    | 75    | 70    | 65    | 60    | 55    |
| BSFC [g/kWh]                           | 173.0                                 | 172.3 | 171.7 | 171.0 | 170.3 | 169.7 | 168.9 | 168.1 | 167.4 | 166.8 | 165.6 | 164.5 | 163.6 | 162.8 | 162.0 |

T(0168)AI

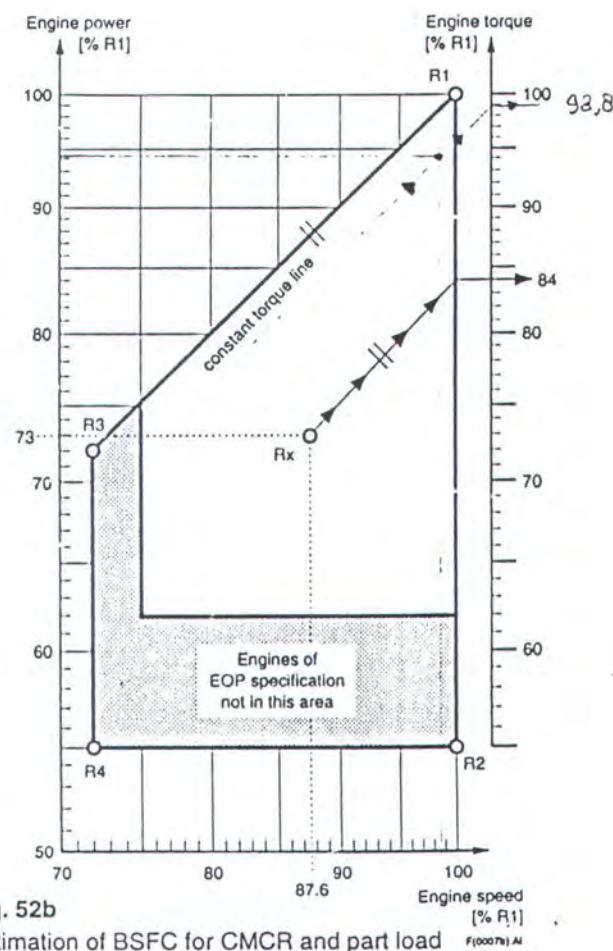
SFOC pada posisi 100 : 173



SFOC pada posisi 98 : 172.3

$$\text{SFOC pada } 98.3 = X = \frac{173 - 172.3}{100 - 98} (98.3 - 98) + 172.3 = 1724 \text{ g/KWh}$$

SFOC pada MCR dan SCR diperoleh berdasarkan gambar dan tabel berikut:





| Brake specific fuel consumption for engines with CMCR specification |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Engines with Efficiency-Booster System (EBS)                        |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Engine torque<br>[% R1]   | Correction of brake specific fuel consumption under ISO condition at partial power in % of Rx [g/kWh] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 100   | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   |
| 100   | -5.4  | -6.7 | -7.3 | -7.4 | -7.1 | -6.6 | -5.9 | -4.9 | -3.7 | -2.4 | -0.9 |
| 68.8  | -3.7  | -4.2 | -4.3 | -4.2 | -3.9 | -3.3 | -2.4 | -1.3 | -0.1 | 1.4  | 3.1  |
| 55  | -2.6  | -2.6 | -2.5 | -2.2 | -1.8 | -1.1 | -0.1 | 1.3  | 3.3  | 5.5  | 8.0  |
| Engines without Efficiency-Booster System (no EBS)                  |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Engine torque<br>[% R1]   | Correction of brake specific fuel consumption under ISO condition at partial power in % of Rx [g/kWh] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|   | 100   | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   |
| 100   | 0.0   | -1.5 | -2.5 | -2.9 | -2.9 | -2.7 | -2.2 | -1.5 | -0.7 | 0.2  | 1.2  |
| 68.8  | 0.0   | -0.7 | -1.1 | -1.3 | -1.3 | -1.1 | -0.6 | 0.1  | 1.0  | 2.1  | 3.3  |
| 55  | 0.0   | -0.4 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | 0.0  | 0.7  | 1.7  | 3.2  | 4.9  | 6.7  |

T(0152) A'

Engine torsi 98.8 %

SFOC pada MCR:

$$Y = \frac{(-5.4 - (-3.7))}{100 - 68.8} (98.8 - 98) + (-3.7) = -5.3 \text{ g/KW.h}$$

$$\text{SFOC MCR} = X + Y = 172.405 + (-5.3) = 167.07 \text{ g/KW.h}$$

SFOC pada SCR (90%):

$$Z = \frac{(-7.3 - (-4.3))}{100 - 68.8} (98.8 - 98) + (-4.3) = -7.185 \text{ g/KW.h}$$

$$\text{SFOC SCR} = X + Z = 172.405 + (-7.185) = 165.22 \text{ g/KW.h}$$

Selanjutnya konsumsi bahan bakar dihitung per tahun dengan asumsi bahwa kapal akan berlayar selama 270 hari selama setahun.

$$\text{Konsumsi bahan bakar} = 270 \times \text{BHP (SCR)} \times \text{SFOC} \times 24 \times 1.06$$



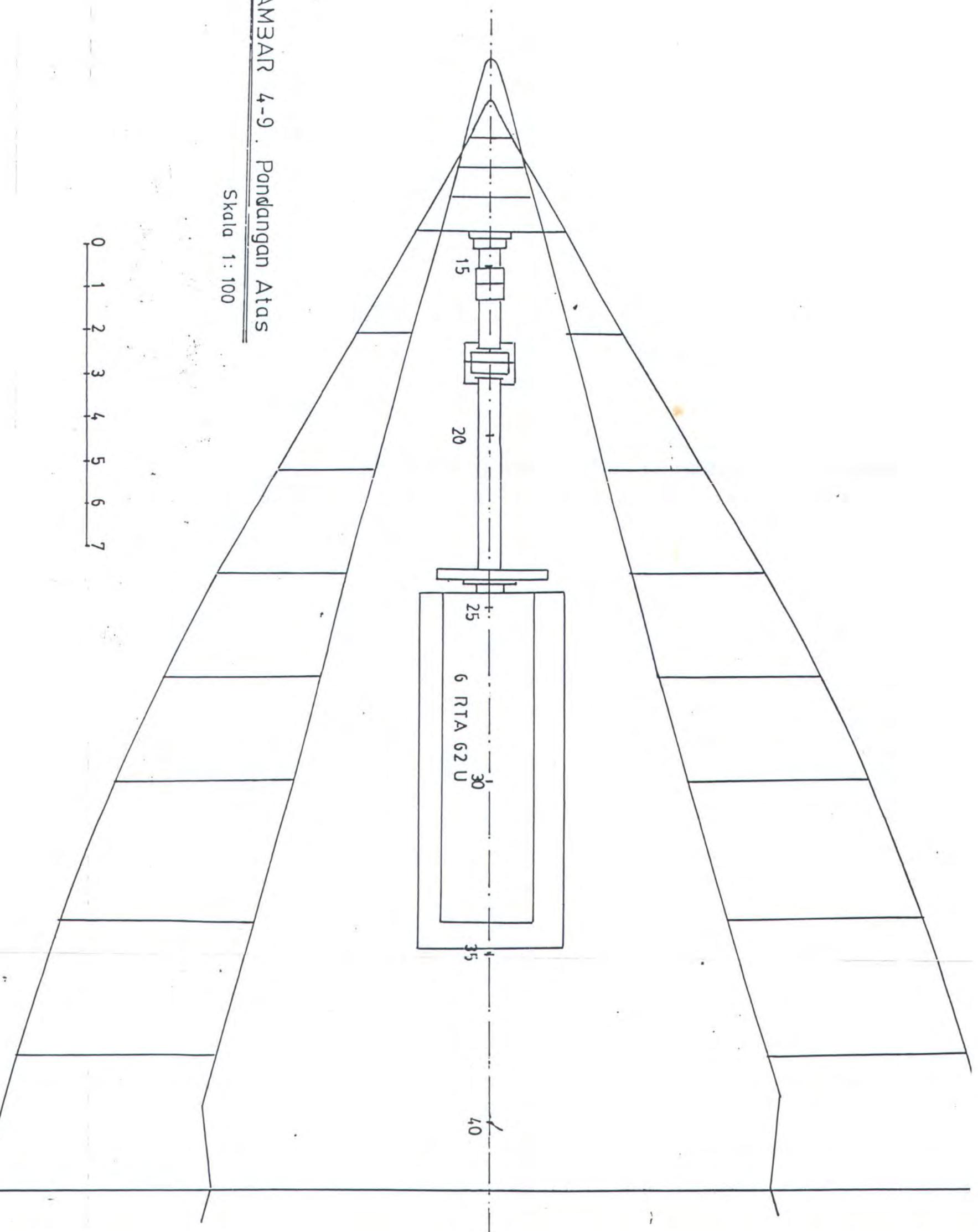
$$\begin{aligned}\text{Konsumsi bahan bakar} &= 270 \times 11303.95 \times 165.22 \times 24 \times 1.06 \\ &= 1282.84 \text{ ton per tahun}\end{aligned}$$

#### 4.4 Peletakan Motor Induk di dalam Kamar Mesin

Berikut ini adalah peletakan motor induk pada kamar mesin KM Palwo Buwono 1600 TEU's. Pada gambar 4-10, 4-11 dan 4-12 dapat dilihat bahwa panjang dan lebar motor tidak menimbulkan masalah., namun perlu diadakan penyesuaian konstruksi berkaitan dengan kebutuhan ruang untuk perbaikan motor yakni *scantling height* setinggi 10300 mm dari sumbu poros motor induk, karna tinggi yang tersedia adalah sebesar 9700 mm.

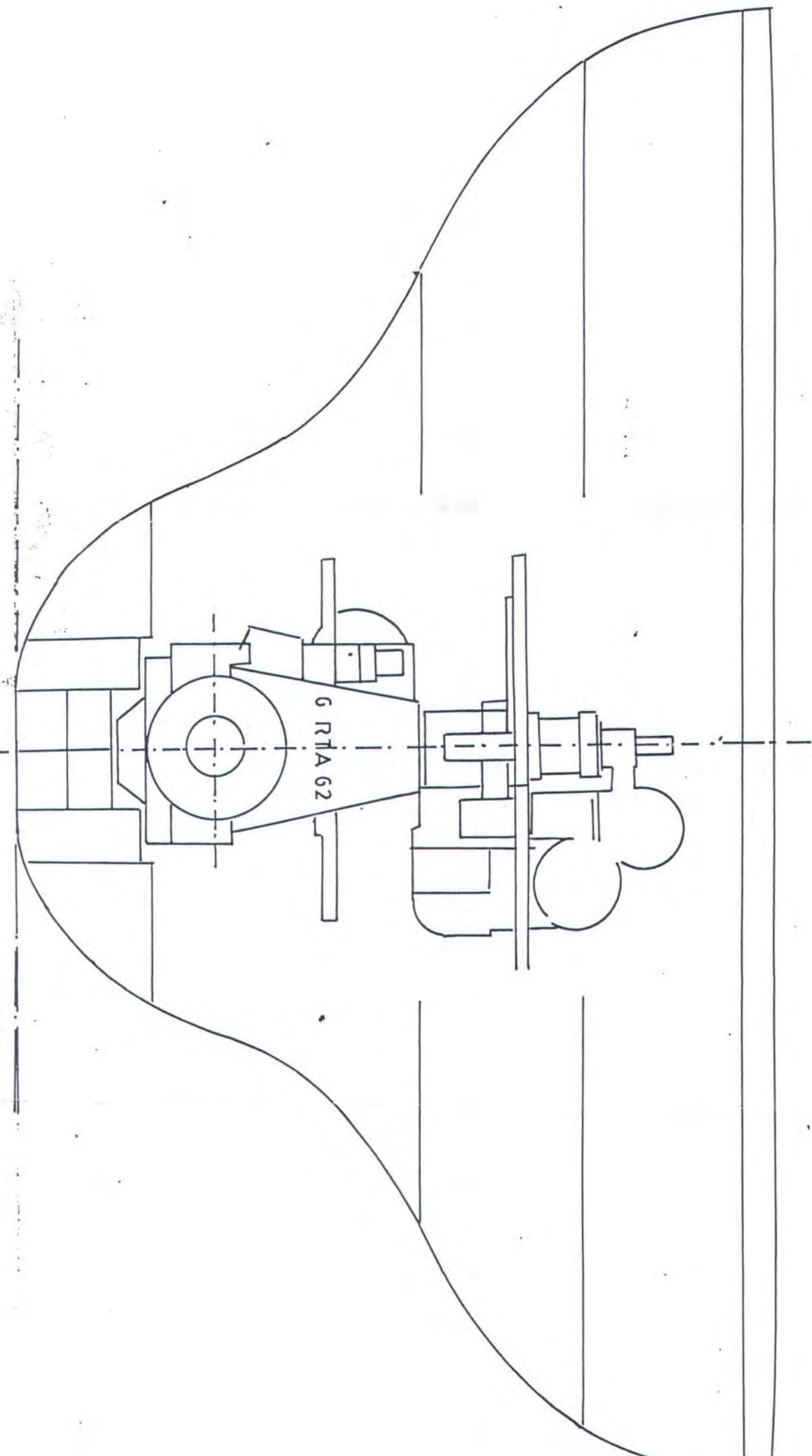
GAMBAR 4-9 . Pandangan Atas

Skala 1: 100



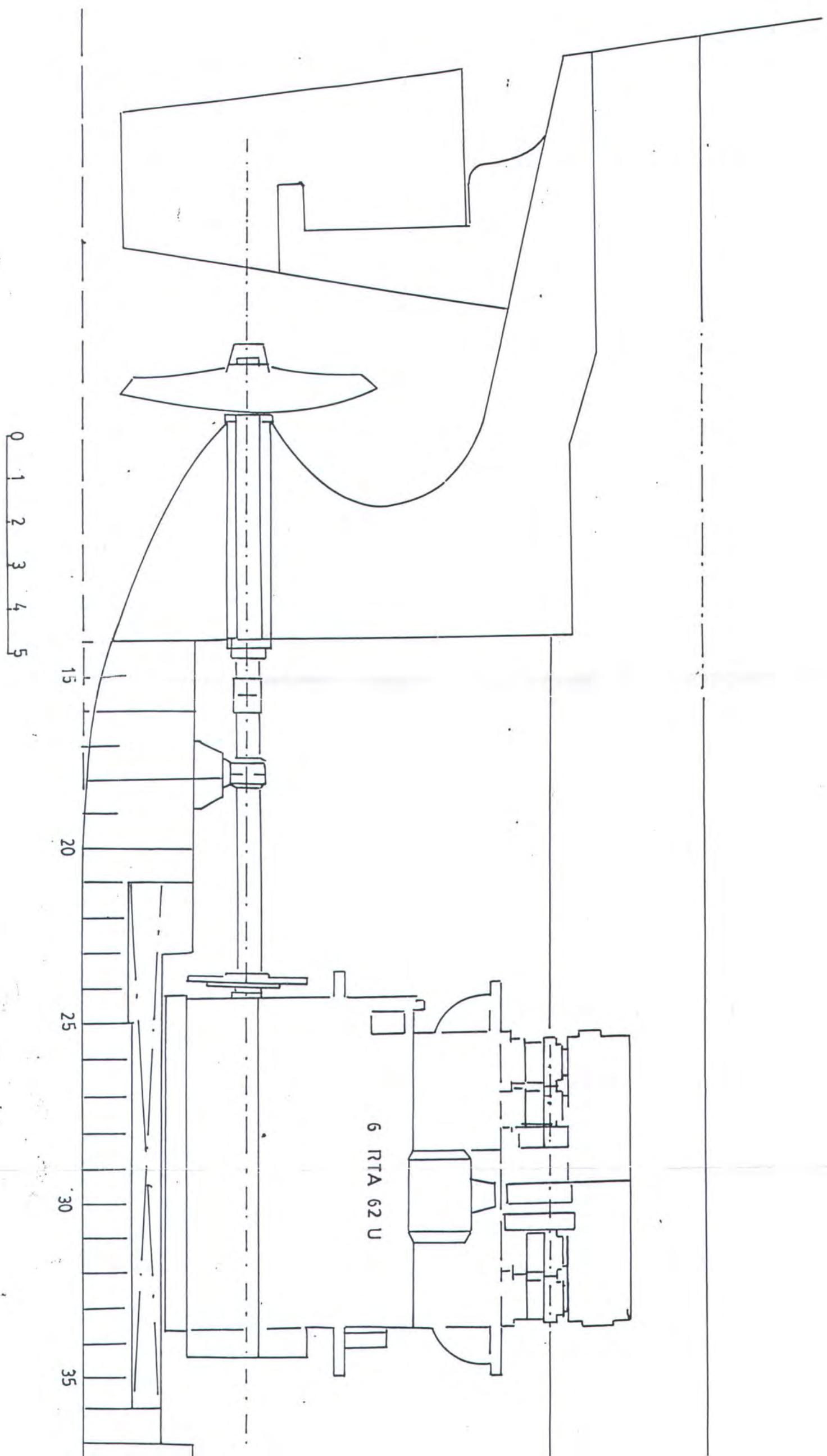
0 1 2 3 4 5 6 7

0  
1  
2  
3  
4  
5



GAMBAR 4 - 10. Penampang Melintang FRAI

Skala 1 : 10c



GAMBAR 4 - 11 . Pandangan Samping  
Skala 1:100

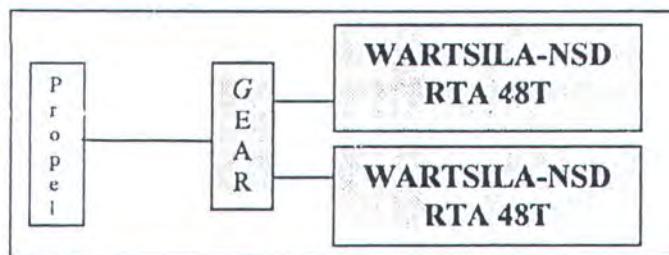
## **BAB V**

**ALTERNATIF  
WARTSILA NSD RTA 48 T**



## BAB V

### ALTERNATIF WARTSILA NSD RTA 48 T



Gambar 5-1 Penggerak Alternatif Wartsila 5 RTA 48T

#### 5.1 Main Engine

- Merk = Wartsila NSD
- Type = 5 RTA 48 T
- Jenis = Motor diesel dua langkah
- Jumlah = 2 buah
- Daya = 6800 KW
- RPM = 124 rpm
- Jumlah silinder = 5 buah (inline)
- Diameter bore = 480 mm
- Panjang stroke = 2000 mm
- SFOC = 121 gr/BHP.h
- Bahan bakar = HFO



- Lower calorific value = 10080 kcal/kg
- Panjang motor = 5314 mm
- Lebar motor = 3170 mm
- Tinggi motor = 8419 mm
- Berat motor = 170 ton

Propeller:

- Type = NACA-16
- Diameter = 6200 mm
- Ac/Ao = 0.604
- P/D = 0.794
- Jumlah daun = 4 buah

Gear Box:

- Type : MDD – 72 Cincinnati gear.
- Jenis : Double Input Single Output with clutch.
- Panjang : 2140 mm
- Lebar : 10900 mm
- Tinggi : 4007 mm
- Offset : 3300 mm
- Berat : 44 ton



## 5.2 Matching Engine Propeller

Pada penggunaan dua engine maka diasumsikan bahwa kedua engine mengalami beban propeller yang sama sehingga dari masing-masing engine dibutuhkan daya sebesar:

$$\text{BHP} = \frac{R \times V}{\eta_H \times \eta_O \times \eta_S}$$

$$R = 754.763 \text{ kN}$$

$$\text{BHP} = \frac{754.763 \times 9.825}{\left(\frac{1-0.19}{1-0.3654}\right) \times 0.595 \times 0.96}$$

$$\text{BHP} = 9783.04 \text{ kW}$$

$$\frac{\text{BHP}_{\text{ideal}}}{2} = \frac{9783.04}{2} = 4891.52 \text{ kW}$$

Pada kondisi service:

$$\text{BHP ideal} = 85\% \text{ BHP scr}$$

$$\text{BHPscr} = 5754.73 \text{ kW}$$

Pada kondisi MCR :

$$\text{BHPscr} = 90\% \text{ BHPmcr}$$

$$\text{BHPmcr} = 6394.14 \text{ kW}$$

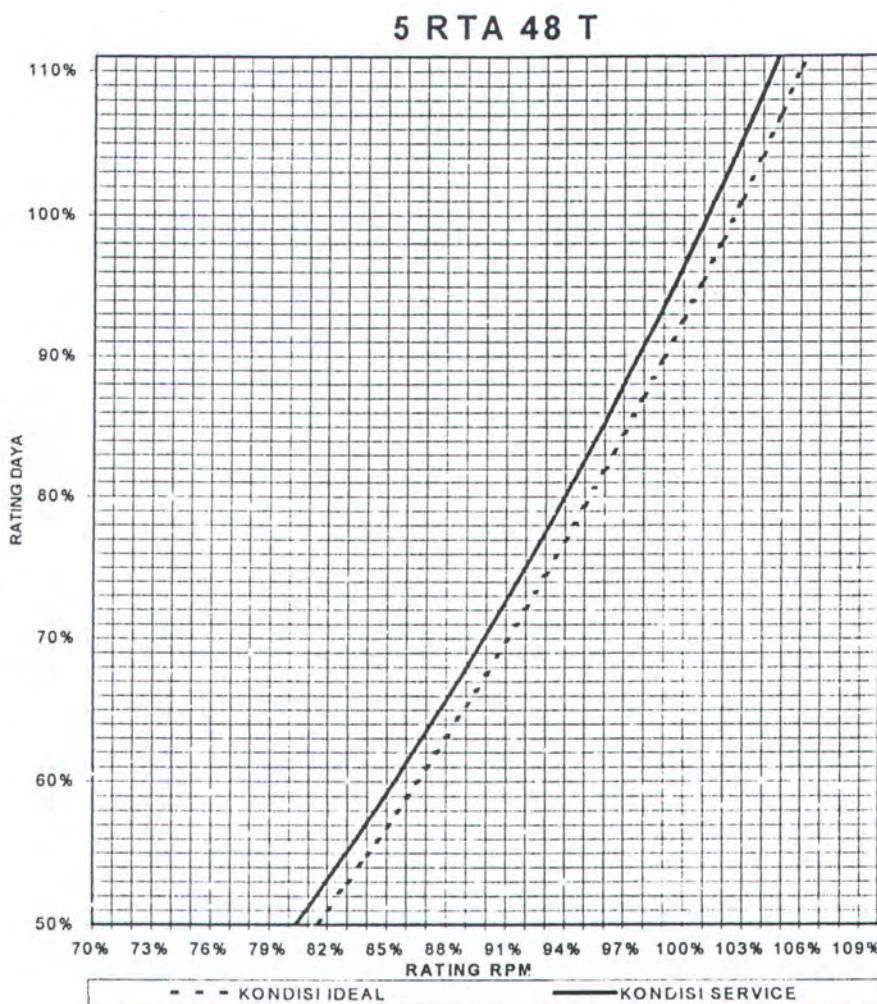
Torsi dan daya propeller pada berbagai rating rpm yang disesuaikan dengan 100 % rating rpm 5 RTA 48 T ( 124 rpm) ditampilkan dalam bentuk tabel berikut:



| RPM<br>% | SERVICE |         |        |         |         |        |        |        | TRIAL |       |         |        |         |         |        |        |        |      |       |         |        |         |         |        |        |        |       |       |         |        |         |         |        |        |        |
|----------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
|          | RPM     |         | KQ     |         | Q       |        | DHP    |        | BHP   |       | BHP     |        | BHP/2   |         | RPM    |        | KQ     |      | Q     |         | DHP    |         | BHP     |        | BHP    |        | BHP/2 |       |         |        |         |         |        |        |        |
|          | %       | KW      | KW     | KW      | KW      | KW     | %      | KW     | KW    | %     | KW      | %      | %       | KW      | KW     | %      | KW     | KW   | %     | KW      | %      | KW      | %       | KW     | %      | KW     | %     |       |         |        |         |         |        |        |        |
| 70%      | 86.8    | 0.02327 | 456.5  | 4315.5  | 4495.3  | 33.1%  | 2247.7 | 33.1%  | 70%   | 86.8  | 0.02235 | 438.5  | 4144.9  | 4317.6  | 31.7%  | 2158.6 | 31.7%  | 71%  | 88.0  | 0.02327 | 469.6  | 4503.1  | 4690.8  | 34.5%  | 2345.4 | 34.5%  | 71%   | 88.0  | 0.02235 | 451.1  | 4325.1  | 4505.3  | 33.1%  | 2252.7 | 33.1%  |
| 72%      | 89.3    | 0.02327 | 483.0  | 4696.1  | 4891.8  | 36.0%  | 2445.9 | 36.0%  | 72%   | 89.3  | 0.02235 | 463.9  | 4510.4  | 4698.4  | 34.5%  | 2349.2 | 34.5%  | 73%  | 90.5  | 0.02327 | 496.5  | 4894.5  | 5098.4  | 37.5%  | 2549.2 | 37.5%  | 73%   | 90.5  | 0.02235 | 476.9  | 4701.0  | 4896.9  | 36.0%  | 2448.4 | 36.0%  |
| 74%      | 91.6    | 0.02327 | 510.2  | 5098.4  | 5310.8  | 39.1%  | 2655.4 | 39.1%  | 74%   | 91.6  | 0.02235 | 490.0  | 4896.8  | 5100.9  | 37.5%  | 2550.4 | 37.5%  | 75%  | 93.0  | 0.02327 | 524.1  | 5307.9  | 5529.1  | 40.7%  | 2764.5 | 40.7%  | 75%   | 93.0  | 0.02235 | 503.3  | 5098.1  | 5310.5  | 39.0%  | 2655.2 | 39.0%  |
| 76%      | 94.2    | 0.02327 | 538.1  | 5523.1  | 5753.2  | 42.3%  | 2876.6 | 42.3%  | 76%   | 94.2  | 0.02235 | 516.9  | 5304.7  | 5525.7  | 40.6%  | 2762.9 | 40.6%  | 77%  | 95.5  | 0.02327 | 552.4  | 5744.0  | 5983.3  | 44.0%  | 2991.7 | 44.0%  | 77%   | 95.5  | 0.02235 | 530.5  | 5516.9  | 5746.7  | 42.3%  | 2873.4 | 42.3%  |
| 78%      | 96.7    | 0.02327 | 566.8  | 5970.7  | 6219.5  | 45.7%  | 3109.7 | 45.7%  | 78%   | 96.7  | 0.02235 | 544.4  | 5734.6  | 5973.6  | 43.9%  | 2988.8 | 43.9%  | 79%  | 98.0  | 0.02327 | 581.4  | 6203.3  | 6461.7  | 47.5%  | 3230.9 | 47.5%  | 79%   | 98.0  | 0.02235 | 558.5  | 5958.0  | 6206.3  | 45.6%  | 3103.1 | 45.6%  |
| 80%      | 99.2    | 0.02327 | 596.3  | 6441.8  | 6710.2  | 49.3%  | 3355.1 | 49.3%  | 80%   | 99.2  | 0.02235 | 572.7  | 6187.2  | 6445.0  | 47.4%  | 3222.5 | 47.4%  | 81%  | 100.4 | 0.02327 | 611.3  | 6686.4  | 6965.0  | 51.2%  | 3482.5 | 51.2%  | 81%   | 100.4 | 0.02235 | 537.1  | 6422.1  | 6689.7  | 49.2%  | 3344.8 | 49.2%  |
| 82%      | 101.7   | 0.02327 | 626.4  | 6937.2  | 7226.2  | 53.1%  | 3613.1 | 53.1%  | 82%   | 101.7 | 0.02235 | 601.7  | 6662.9  | 6940.5  | 51.0%  | 3470.3 | 51.0%  | 83%  | 102.9 | 0.02327 | 641.8  | 7194.1  | 7493.8  | 55.1%  | 3746.9 | 55.1%  | 83%   | 102.9 | 0.02235 | 616.4  | 6909.6  | 7197.5  | 52.9%  | 3598.8 | 52.9%  |
| 84%      | 104.2   | 0.02327 | 657.4  | 7457.2  | 7768.0  | 57.1%  | 3884.0 | 57.1%  | 84%   | 104.2 | 0.02235 | 631.4  | 7162.4  | 7460.8  | 54.9%  | 3730.4 | 54.9%  | 85%  | 105.4 | 0.02327 | 673.1  | 7726.7  | 8048.7  | 59.2%  | 4024.3 | 59.2%  | 85%   | 105.4 | 0.02235 | 646.5  | 7421.3  | 7730.5  | 56.8%  | 3865.2 | 56.8%  |
| 86%      | 106.6   | 0.02327 | 689.1  | 8002.7  | 8336.1  | 61.3%  | 4168.1 | 61.3%  | 86%   | 106.6 | 0.02235 | 661.8  | 7686.3  | 8006.5  | 58.9%  | 4003.3 | 58.9%  | 87%  | 107.9 | 0.02327 | 705.2  | 8285.1  | 8630.3  | 63.5%  | 4315.2 | 63.5%  | 87%   | 107.9 | 0.02235 | 677.3  | 7957.5  | 8289.1  | 60.9%  | 4144.6 | 60.9%  |
| 88%      | 109.1   | 0.02327 | 721.5  | 8574.1  | 8931.3  | 65.7%  | 4465.7 | 65.7%  | 88%   | 109.1 | 0.02235 | 693.0  | 8235.1  | 8578.2  | 63.1%  | 4289.1 | 63.1%  | 89%  | 110.4 | 0.02327 | 738.0  | 8869.7  | 9239.3  | 67.9%  | 4619.6 | 67.9%  | 89%   | 110.4 | 0.02235 | 708.8  | 8519.0  | 8874.0  | 65.3%  | 4437.0 | 65.3%  |
| 90%      | 111.6   | 0.02327 | 754.6  | 9172.1  | 9554.2  | 70.3%  | 4777.1 | 70.3%  | 90%   | 111.6 | 0.02235 | 724.8  | 8809.4  | 9176.5  | 67.5%  | 4588.3 | 67.5%  | 91%  | 112.8 | 0.02327 | 771.5  | 9481.2  | 9876.3  | 72.6%  | 4938.1 | 72.6%  | 91%   | 112.8 | 0.02235 | 741.0  | 9106.4  | 9485.8  | 69.7%  | 4742.9 | 69.7%  |
| 92%      | 114.1   | 0.02327 | 788.6  | 9797.2  | 10205.4 | 75.0%  | 5102.7 | 75.0%  | 92%   | 114.1 | 0.02235 | 757.4  | 9409.9  | 9802.0  | 72.1%  | 4901.0 | 72.1%  | 93%  | 115.3 | 0.02327 | 805.8  | 10120.2 | 10541.9 | 77.5%  | 5270.9 | 77.5%  | 93%   | 115.3 | 0.02235 | 773.9  | 9720.1  | 10125.1 | 74.4%  | 5062.5 | 74.4%  |
| 94%      | 115.6   | 0.02327 | 823.2  | 10450.2 | 10885.6 | 80.0%  | 5442.8 | 80.0%  | 94%   | 116.6 | 0.02235 | 790.7  | 10037.0 | 10455.2 | 76.9%  | 5227.6 | 76.9%  | 95%  | 117.8 | 0.02327 | 840.8  | 10787.2 | 11236.7 | 82.6%  | 5618.4 | 82.6%  | 95%   | 117.8 | 0.02235 | 807.6  | 10360.8 | 10792.5 | 79.4%  | 5396.9 | 79.4%  |
| 96%      | 119.0   | 0.02327 | 858.6  | 11131.5 | 11595.3 | 85.3%  | 5797.7 | 85.3%  | 96%   | 119.0 | 0.02235 | 824.7  | 10691.4 | 11136.9 | 81.9%  | 5568.4 | 81.9%  | 97%  | 120.3 | 0.02327 | 876.6  | 11483.0 | 11961.5 | 88.0%  | 5980.7 | 88.0%  | 97%   | 120.3 | 0.02235 | 841.9  | 11029.0 | 11488.5 | 84.5%  | 5744.3 | 84.5%  |
| 98%      | 121.5   | 0.02327 | 894.8  | 11841.8 | 12352.2 | 90.7%  | 6167.6 | 90.7%  | 98%   | 121.5 | 0.02235 | 859.4  | 11373.6 | 11847.5 | 87.1%  | 5923.8 | 87.1%  | 99%  | 122.8 | 0.02327 | 913.1  | 12208.0 | 12716.7 | 93.5%  | 6358.3 | 93.5%  | 99%   | 122.8 | 0.02235 | 877.0  | 11725.4 | 12213.9 | 89.8%  | 6107.0 | 89.8%  |
| 100%     | 124.0   | 0.02327 | 931.7  | 12581.7 | 13106.0 | 96.4%  | 6553.0 | 96.4%  | 100%  | 124.0 | 0.02235 | 894.8  | 12094.3 | 12587.8 | 92.6%  | 6293.9 | 92.6%  | 101% | 125.2 | 0.02327 | 950.4  | 12963.0 | 135C3.1 | 99.3%  | 6751.5 | 99.3%  | 101%  | 125.2 | 0.02235 | 912.8  | 12150.5 | 12969.2 | 95.4%  | 6484.6 | 95.4%  |
| 102%     | 126.5   | 0.02327 | 969.3  | 13351.8 | 13908.1 | 102.3% | 6954.1 | 102.3% | 102%  | 126.5 | 0.02235 | 931.0  | 12823.9 | 13358.3 | 98.2%  | 6679.1 | 98.2%  | 103% | 127.7 | 0.02327 | 988.4  | 13748.4 | 14321.2 | 105.3% | 7160.6 | 105.3% | 103%  | 127.7 | 0.02235 | 949.3  | 13204.8 | 13755.0 | 101.1% | 6877.5 | 101.1% |
| 104%     | 129.0   | 0.02327 | 1007.7 | 14152.7 | 14742.4 | 108.4% | 7371.2 | 108.4% | 104%  | 129.0 | 0.02235 | 967.8  | 13593.2 | 14159.6 | 104.1% | 7079.8 | 104.1% | 105% | 130.2 | 0.02327 | 1027.2 | 14564.9 | 15171.8 | 111.6% | 7585.9 | 111.6% | 105%  | 130.2 | 0.02235 | 986.5  | 13989.1 | 14572.0 | 107.1% | 7286.0 | 107.1% |
| 106%     | 131.4   | 0.02327 | 1046.8 | 14985.0 | 15609.4 | 114.8% | 7804.7 | 114.8% | 106%  | 131.4 | 0.02235 | 1005.4 | 14392.6 | 14992.3 | 110.2% | 7496.1 | 110.2% | 107% | 132.7 | 0.02327 | 1066.7 | 15413.1 | 16055.4 | 118.1% | 8027.7 | 118.1% | 107%  | 132.7 | 0.02235 | 1024.5 | 14803.8 | 15420.6 | 113.4% | 7710.3 | 113.4% |
| 108%     | 133.9   | 0.02327 | 1086.7 | 15849.3 | 16509.7 | 121.4% | 8254.9 | 121.4% | 108%  | 133.9 | 0.02235 | 1043.7 | 15222.7 | 15857.0 | 116.6% | 7928.5 | 116.6% | 109% | 135.2 | 0.02327 | 1106.9 | 16293.7 | 16972.6 | 124.8% | 8486.3 | 124.8% | 109%  | 135.2 | 0.02235 | 1063.1 | 15649.5 | 16301.6 | 119.9% | 8150.8 | 119.9% |
| 110%     | 136.4   | 0.02327 | 1127.3 | 16746.3 | 17444.0 | 128.3% | 8722.0 | 128.3% | 110%  | 136.4 | 0.02235 | 1082.7 | 16084.2 | 16754.4 | 123.2% | 8377.2 | 123.2% |      |       |         |        |         |         |        |        |        |       |       |         |        |         |         |        |        |        |

Tabel 5-1 Torsi, DHP dan BHP terhadap Rpm

Untuk memperjelas akan ditampilkan BHP pada kondisi ideal dan service pada gambar berikut:



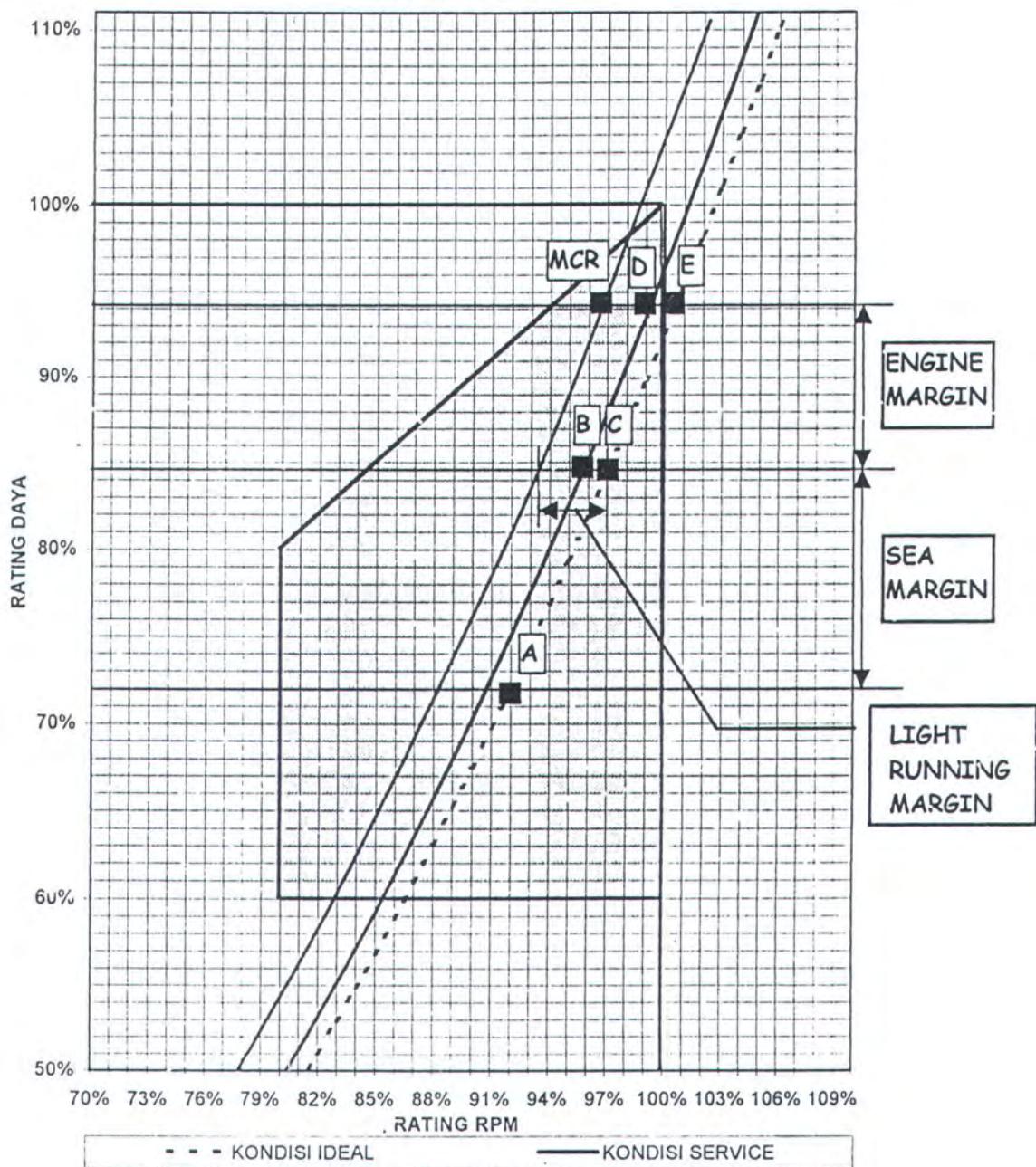
Gambar 5-2 Kurva BHP terhadap Rpm

Dalam proses matching karakteristik motor induk sangatlah diperlukan untuk mengetahui kondisi kerja motor induk dan hasil penggambaran kurva beban propeller ke dalam karakteristik motor induk.

Berikut ini adalah hasil penggambaran kurva propeller ke dalam karakteristik motor induk.



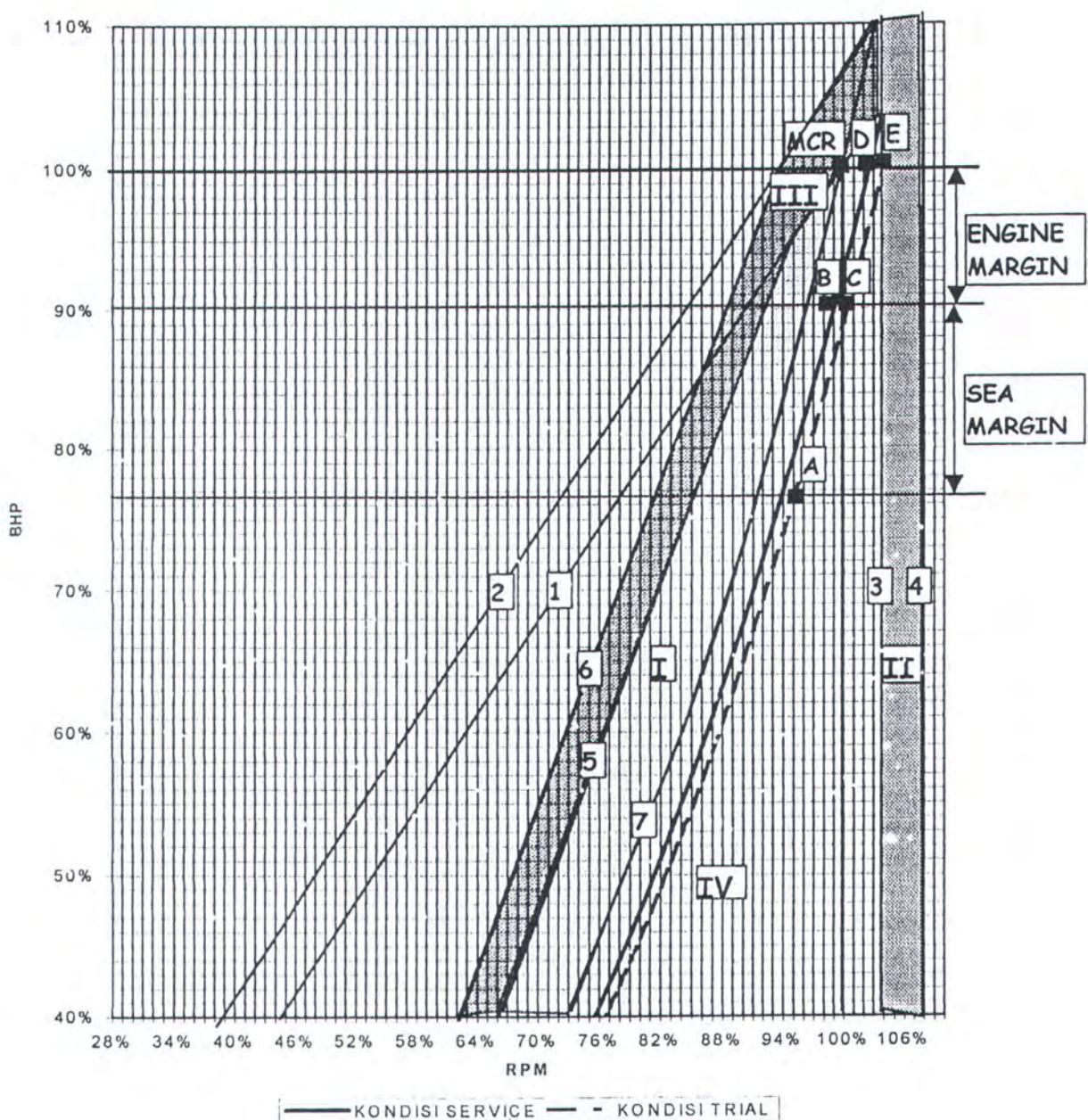
## 5 RTA 48 T



Gambar 5-3 Engine Layout

| KONDISI   | DAYA (kW) | % DAYA | RPM    | % RPM   | Vs (KNOT) |
|-----------|-----------|--------|--------|---------|-----------|
| A TRIAL   | 5086.11   | 74.80% | 114    | 91.94%  | 19.1      |
| B SERVICE | 5754.73   | 84.63% | 118.5  | 95.56%  | 19.1      |
| C TRIAL   | 5754.73   | 84.63% | 120.2  | 96.94%  | 20.1      |
| D SERVICE | 6394.14   | 94.03% | 122.8  | 99.03%  | 19.8      |
| E TRIAL   | 6394.14   | 94.03% | 124.4  | 100.32% | 20.8      |
| SCR       | 5754.73   | 84.63% | 118.5  | 95.56%  |           |
| MCR       | 6394.14   | 94.03% | 120.05 | 96.81%  |           |

|           | R1   | R2   | R3   | R4   |
|-----------|------|------|------|------|
| DAYA (kW) | 6800 | 4100 | 5450 | 4100 |
| RPM       | 124  | 124  | 99   | 99   |



Gambar 5-4 Engine Load Diagram

Keterangan gambar:

- Garis 1: garis *constant BMEP* melalui maximum continuous rating dari 100% daya dan 100% rpm hingga 95% daya dan 95% rpm. Daerah diatas



*garis 1* adalah *overload range* dimana motor hanya diijinkan untuk bekerja selama maksimum satu jam selama sea trial.

- **Garis 2** : garis *overload limit* sejajar dengan garis 1 dari 110% daya dan 103 % rpm hingga 100% daya dan 94% rpm.
- **Garis 3** : batas 104 % rpm *overspeed range*.
- **Garis 4** : batas *overspeed limit* pada 108% rpm. Batasan antara *104% rpm* dan *108% rpm* hanya diijinkan pada sea trial untuk mendemonstrasikan kecepatan kapal dalam kondisi maksimum continuous rating.
- **Garis 5** : 95% daya dan 95% rpm hingga 45% daya dan 70% rpm. Apabila melampaui garis ini motor akan *mengalami kekurangan pasokan udara pembilasan*.
- **Garis 6** : Sejajar dengan garis 5 memotong 100% daya dan 94 % speed.
- **Garis 7** : Nominal propeller characteristic sejajar dengan propeller karakteristic pada kondisi ideal/trial bergeser ke kiri sebesar light running margin.
- **Daerah I** : disebut *service range with operational time limit* yaitu daerah antara **garis 5** dan **garis 6** ini dianjurkan hanya digunakan dalam batas waktu tertentu misalnya dalam fast acceleration.
- **Daerah II** : disebut *overspeed range* hingga overspeed limit pada garis 4 (108% rating rpm). Pada overspeed dianjurkan hanya digunakan dalam batas waktu tertentu dengan persyaratan getaran yang ketat.
- **Daerah III** : *Overload* 110% engine torsi maksimum satu jam dalam sea trial.



- **Daerah IV** : daerah antara nominal propeller characteristic 100% daya dan garis 3 ini *direkomendasikan bagi continuous operation.*
- **Engine Margin** : margin yang diberikan untuk menyediakan daya yang lebih besar bagi keperluan-keperluan tertentu dan darurat, *merupakan selisih antara MCR dan SCR* dalam tugas akhir ini digunakan engine margin sebesar 10% atau  $SCR = 90\% MCR$ .
- **Sea Margin** : margin yang diberikan untuk mengatasi penambahan tahanan pada badan kapal yang disebabkan oleh pengotoran hull, kondisi cuaca dan perairan dalam tugas akhir ini *sea margin diberikan sebesar 15%* atau *kondisi ideal = 85% kondisi service.*
- **Light Running Margin** : margin sebesar 3% – 7% ( digunakan sebesar 3.5%) yang diberikan untuk mengatasi permasalahan berikut ini:
  - 1) Pengotoran hull dan propeller kapal.
  - 2) Pengaruh cuaca dan angin
  - 3) Penurunan efisiensi propeller kapal yang disebabkan penambahan kekasaran permukaan propeller
  - 4) Penurunan efisiensi motor induk yang disebabkan oleh pengotoran pendingin udara pembilasan (scavange air cooler), pengotoran turbocharger, kondisi ring piston yang memburuk, kondisi fuel injection sistem, semua hal ini berhubungan dengan kondisi lingkungan dan umur motor induk.



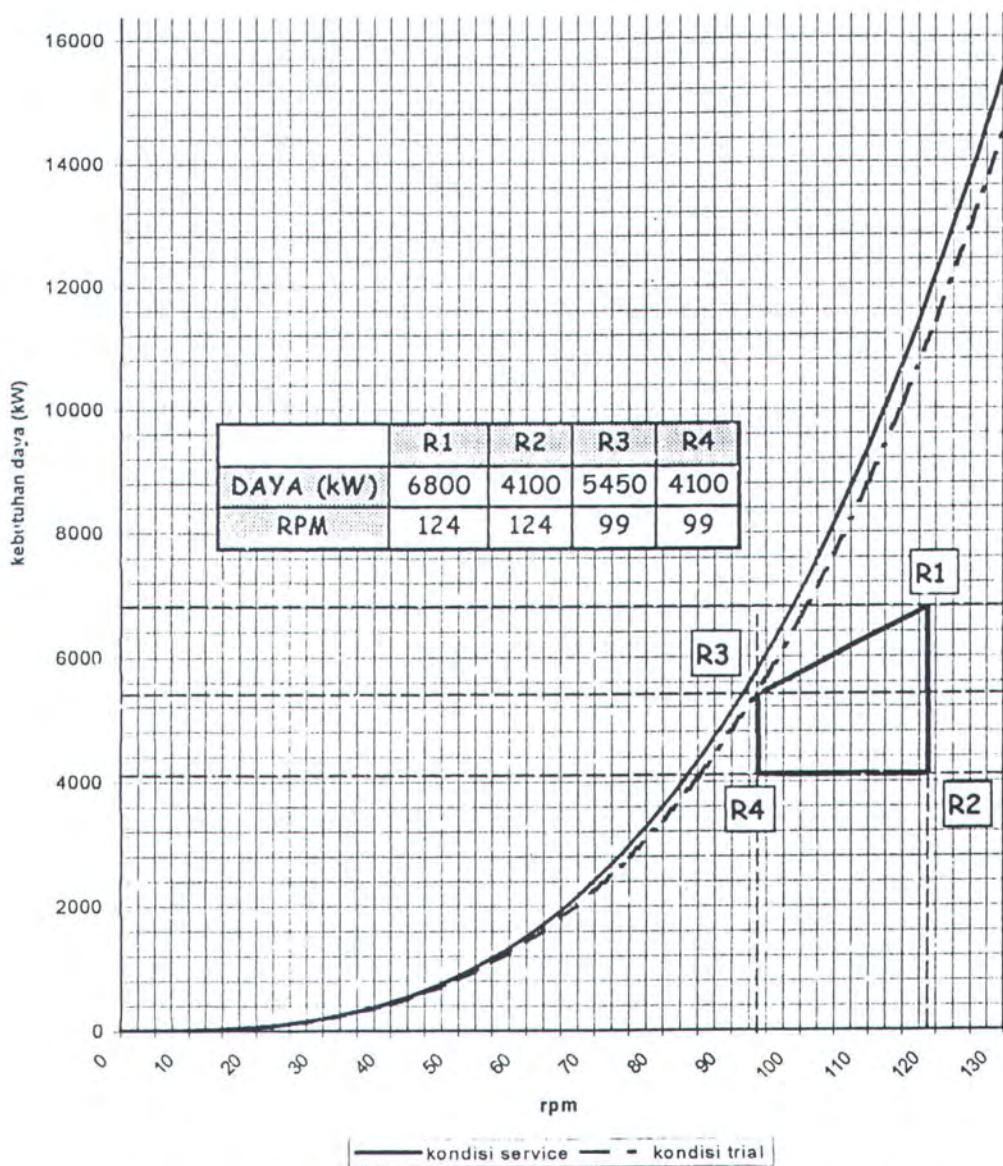
Dengan melihat pada gambar 5-3 dan gambar 5-44 dapat disimpulkan kondisi service kapal telah berada pada daerah yang diijinkan oleh engine untuk beroperasi secara continuous sebab titik A dan B (dimana kecepatan kapal sesuai dengan rencana kecepatan service kapal 19,1 knot) dan MCR berada pada engine envelope.

### 5.3 Matching Engine Propeller Untuk Penggunaan Satu Engine

Penggunaan hanya satu engine dari sistem penggerak twin engine pada beban penuh dapat dianalisa dengan melihat kondisi kurva beban pada muatan penuh dan kurva engine layout. Kurva kebutuhan daya pada muatan penuh dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

| KONDIS SERVICE |         |        |         |         | KONDIS IDEAL |         |       |         |         |
|----------------|---------|--------|---------|---------|--------------|---------|-------|---------|---------|
| RPM            | KQ      | Q      | DHP     | BHP     | RPM          | KQ      | Q     | DHP     | BHP     |
|                |         | KW     | KW      | KW      |              |         | KW    | KW      | KW      |
| 0              | 0.02379 | 0.0    | 0.0     | 0.0     | 0            | 0.02235 | 0.0   | 0.0     | 0.0     |
| 5              | 0.02379 | 1.5    | 0.8     | 0.9     | 5            | 0.02235 | 1.5   | 0.8     | 0.8     |
| 10             | 0.02379 | 6.2    | 6.7     | 7.0     | 10           | 0.02235 | 5.8   | 6.3     | 6.6     |
| 15             | 0.02379 | 13.9   | 22.8    | 23.7    | 15           | 0.02235 | 13.1  | 21.4    | 22.3    |
| 20             | 0.02379 | 24.8   | 54.0    | 56.2    | 20           | 0.02235 | 23.3  | 50.7    | 52.8    |
| 25             | 0.02379 | 38.7   | 105.4   | 109.8   | 25           | 0.02235 | 36.4  | 99.0    | 103.2   |
| 30             | 0.02379 | 55.8   | 182.2   | 189.7   | 30           | 0.02235 | 52.4  | 171.1   | 178.3   |
| 35             | 0.02379 | 75.9   | 289.3   | 301.3   | 35           | 0.02235 | 71.3  | 271.7   | 283.1   |
| 40             | 0.02379 | 99.1   | 431.8   | 449.8   | 40           | 0.02235 | 93.1  | 405.6   | 422.5   |
| 45             | 0.02379 | 125.4  | 614.8   | 640.4   | 45           | 0.02235 | 117.8 | 577.6   | 601.6   |
| 50             | 0.02379 | 154.9  | 843.3   | 878.4   | 50           | 0.02235 | 145.5 | 792.3   | 825.3   |
| 55             | 0.02379 | 187.4  | 1122.4  | 1169.2  | 55           | 0.02235 | 176.0 | 1054.5  | 1098.4  |
| 60             | 0.02379 | 223.0  | 1457.2  | 1517.9  | 60           | 0.02235 | 209.5 | 1369.0  | 1426.1  |
| 65             | 0.02379 | 261.7  | 1852.7  | 1929.9  | 65           | 0.02235 | 245.9 | 1740.6  | 1813.1  |
| 70             | 0.02379 | 303.5  | 2314.0  | 2410.4  | 70           | 0.02235 | 285.2 | 2174.0  | 2264.5  |
| 75             | 0.02379 | 348.4  | 2846.1  | 2964.7  | 75           | 0.02235 | 327.4 | 2673.9  | 2785.3  |
| 80             | 0.02379 | 396.5  | 3454.2  | 3598.1  | 80           | 0.02235 | 372.5 | 3245.1  | 3380.3  |
| 85             | 0.02379 | 447.6  | 4143.1  | 4315.8  | 85           | 0.02235 | 420.5 | 3892.4  | 4054.5  |
| 90             | 0.02379 | 501.8  | 4918.1  | 5123.1  | 90           | 0.02235 | 471.4 | 4620.4  | 4813.0  |
| 95             | 0.02379 | 559.1  | 5784.2  | 6025.2  | 95           | 0.02235 | 525.2 | 5434.1  | 5660.5  |
| 100            | 0.02379 | 619.5  | 6746.4  | 7027.5  | 100          | 0.02235 | 582.0 | 6338.1  | 6602.1  |
| 105            | 0.02379 | 683.0  | 7809.8  | 8135.2  | 105          | 0.02235 | 641.6 | 7337.1  | 7642.8  |
| 110            | 0.02379 | 749.5  | 8979.5  | 9353.6  | 110          | 0.02235 | 704.2 | 8436.0  | 8787.4  |
| 115            | 0.02379 | 819.2  | 10260.4 | 10688.0 | 115          | 0.02235 | 769.6 | 9639.4  | 10041.0 |
| 120            | 0.02379 | 892.0  | 11657.8 | 12143.5 | 120          | 0.02235 | 838.0 | 10952.2 | 11408.5 |
| 125            | 0.02379 | 957.9  | 13176.6 | 13725.6 | 125          | 0.02235 | 909.3 | 12379.0 | 12894.8 |
| 130            | 0.02379 | 1046.9 | 14821.9 | 15439.4 | 130          | 0.02235 | 983.5 | 13924.7 | 14504.9 |

Tabel 5-2 Kebutuhan daya pada berbagai RPM



Gambar 5-5 Hasil Penggambaran engine layout pada kurva beban

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pada muatan penuh engine tidak dapat menyediakan daya yang cukup untuk mengatasi beban propeller sehingga pada saat muatan penuh kapal tidak dapat menggunakan satu engine saja. Penelitian lebih lanjut pada berbagai kondisi muatan diluar jangkauan tugas akhir ini.



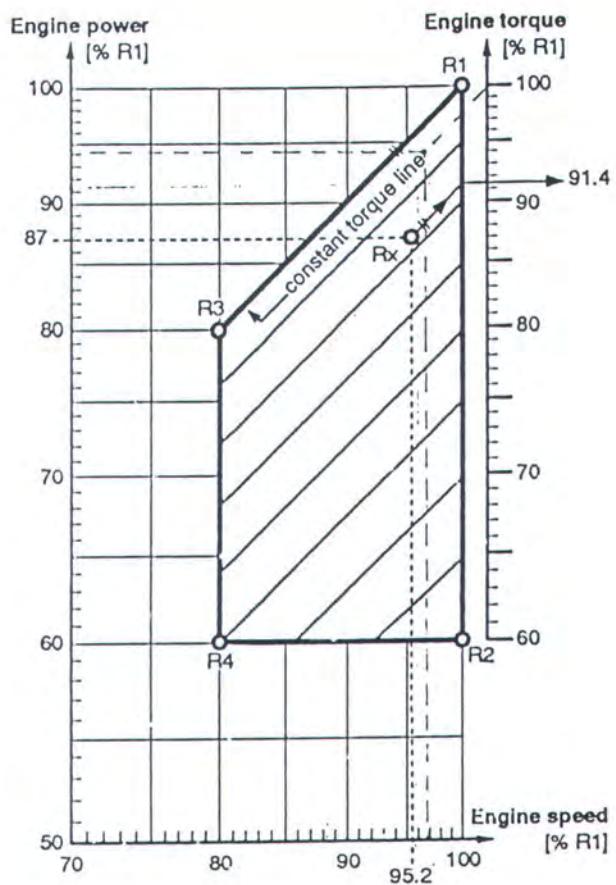
#### 5.4 Konsumsi Bahan Bakar

Setelah mengetahui kondisi operasi yang ada maka selanjutnya diadakan estimasi SFOC yang dilakukan berdasarkan *project guide Wartsila NSD RTA 48 T*. Estimasi SFOC dilakukan berdasarkan pada konsumsi bahan bakar pada MCR kemudian dilakukan SFOC pada SCR.

Dari pembahasan pada sub bab sebelumnya diperoleh hasil berikut:

| KONDISI   | DAYA (kW) | % DAYA | RPM    | % RPM   | Vs (KNOT) |           | R1   | R2   | R3   | R4   |
|-----------|-----------|--------|--------|---------|-----------|-----------|------|------|------|------|
| A TRIAL   | 5086.11   | 74.80% | 114    | 91.94%  | 19.1      | DAYA (kW) | 6800 | 4100 | 5450 | 4100 |
| B SERVICE | 5754.73   | 84.63% | 118.5  | 95.56%  | 19.1      | RPM       | 124  | 124  | 99   | 99   |
| C TRIAL   | 5754.73   | 84.63% | 120.2  | 96.94%  | 20.1      |           |      |      |      |      |
| D SERVICE | 6394.14   | 94.03% | 122.8  | 99.03%  | 19.8      |           |      |      |      |      |
| E TRIAL   | 6394.14   | 94.03% | 124.4  | 100.32% | 20.8      |           |      |      |      |      |
| SCR       | 5754.73   | 84.63% | 118.5  | 95.56%  |           |           |      |      |      |      |
| MCR       | 6394.14   | 94.03% | 120.05 | 96.81%  |           |           |      |      |      |      |

SFOC dapat diketahui dengan menggunakan gambar yang tersedia pada project guide, langkah pertama adalah dengan menggambarkan sebuah titik yang sesuai dengan daya MCR = 6394.14 kW (94.03% R1) dan putaran MCR=120 rpm (96.81% R1)



7056-03/F103100

Fig. 9 Estimation of BSFC for CMCR

Dari gambar tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

Engine torsi : 99.8%

Dari tabel berikut diperoleh

| Brake specific fuel consumption (BSFC) [g/kWh] at CMCR (Rx) at standardized conditions |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Engine torque  | 100   | 98    | 96    | 94    | 92    | 90    | 87.5  | 85    | 82.5  | 80    | 75    | 70    | 65    | 60    |
| Rating point   | R1/R3 |       |       |       |       |       |       |       |       |       | R4    |       |       | R2    |
| BSFC [g/kWh]   | 174.0 | 173.2 | 172.4 | 171.7 | 171.0 | 170.4 | 169.7 | 169.1 | 168.5 | 167.9 | 166.9 | 165.9 | 165.0 | 164.0 |

Table 2 Estimation of BSFC for CMCR

7056-03/T100300



Dilakukan interpolasi:

SFOC pada engine torsi 100% : 174

SFOC pada engine torsi 98% : 173.2

$$\text{SFOC pada engine torsi 99.8 \%} = \frac{99.8 - 98}{100 - 98} (174 - 173.2) + 173.2 = 173.92 \text{ g/kWh}$$

SFOC pada SCR diperoleh berdasarkan koreksi terhadap putaran pada engine torsi 99.8% pada tabel berikut:

| Brake specific fuel consumption (BSFC) at part load (Rx) |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| A: Engine speed 100 % R1                                 |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
| Engine torque<br>Rx [% R1]                               | Correction of BSFC [g/kWh] at part load in % of Rx at standardized conditions |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|  | 95  | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55  | 50   |
| 100  | -2.0  | -3.4 | -4.0 | -4.2 | -4.1 | -3.5 | -2.2 | 0.1  | 2.5 | 5.0  |
| 90   | -1.5  | -2.4 | -2.7 | -2.8 | -2.4 | -1.7 | -0.1 | 2.1  | 4.7 | 7.5  |
| 80   | -1.1  | -1.7 | -1.9 | -1.7 | -1.4 | -0.4 | 0.8  | 2.9  | 5.4 | 8.3  |
| 70   | -0.8  | -1.1 | -1.2 | -1.1 | -0.7 | 0.1  | 1.3  | 3.2  | 5.4 | 7.8  |
| 60   | -0.5  | -0.8 | -0.9 | -0.7 | -0.4 | 0.2  | 1.3  | 2.7  | 4.4 | 6.2  |
| Brake specific fuel consumption (BSFC) at part load (Rx) |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
| B: Engine speed 80 % R1                                  |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
| Engine torque<br>Rx [% R1]                               | Correction of BSFC [g/kWh] at part load in % of Rx at standardized conditions |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|  | 95  | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55  | 50   |
| 100  | -1.7  | -2.9 | -3.5 | -3.7 | -3.6 | -3.1 | -2.0 | -0.1 | 2.1 | 4.5  |
| 90   | -1.0  | -1.9 | -2.3 | -2.5 | -2.4 | -1.9 | -0.9 | 1.3  | 4.5 | 7.9  |
| 85   | -1.0  | -1.6 | -2.8 | -2.8 | -1.3 | -0.4 | 1.6  | 4.1  | 7.0 | 10.2 |
| 80   | -0.8  | -1.4 | -1.6 | -1.5 | -1.1 | -0.3 | 1.3  | 3.6  | 6.6 | 9.7  |
| 70   | -0.7  | -1.1 | -1.3 | -1.2 | -0.9 | -0.2 | 1.0  | 2.7  | 4.9 | 7.4  |

Table 3 Estimation of BSFC for CMCR at part load

7056-03/T100301-1



Pada putaran 100%:

$$\Delta \text{BSFC}_A = \Delta \text{BSFC}_{90} + (\Delta \text{BSFC}_{100} - \Delta \text{BSFC}_{90}) \frac{99.8 - 90}{100 - 90}$$
$$= -2.4 + (-3.4 - (-2.4)) \frac{99.8 - 90}{100 - 90} = -3.38$$

pada putaran 80%:

$$\Delta \text{BSFC}_B = \Delta \text{BSFC}_{90} + (\Delta \text{BSFC}_{100} - \Delta \text{BSFC}_{90}) \frac{99.8 - 90}{100 - 90}$$
$$= -1.9 + (-2.9 - (-1.9)) \frac{99.8 - 90}{100 - 90} = -2.88$$

pada putaran MCR = 120.05 rpm (96.81% R1)

$$\Delta \text{BSFC}_{96.81} = \Delta \text{BSFC}_B + (\Delta \text{BSFC}_A - \Delta \text{BSFC}_B) \frac{96.81 - 80}{100 - 80}$$
$$= -2.88 + (-3.38 - (-2.88)) \frac{96.81 - 90}{100 - 90} = -3.22$$

$$\text{SFC SCR} = \text{SFC MCR} + \Delta \text{BSFC}_{96.81} = 173.92 - 3.22 = 170.69 \text{ g/KWh}$$

Selanjutnya konsumsi bahan bakar dihitung per tahun dengan asumsi bahwa kapal akan berlayar selama 270 hari selama setahun.

$$\text{Konsumsi bahan bakar} = 2 \times 270 \times \text{BHP (SCR)} \times \text{SFOC} \times 24 \times 1.06$$

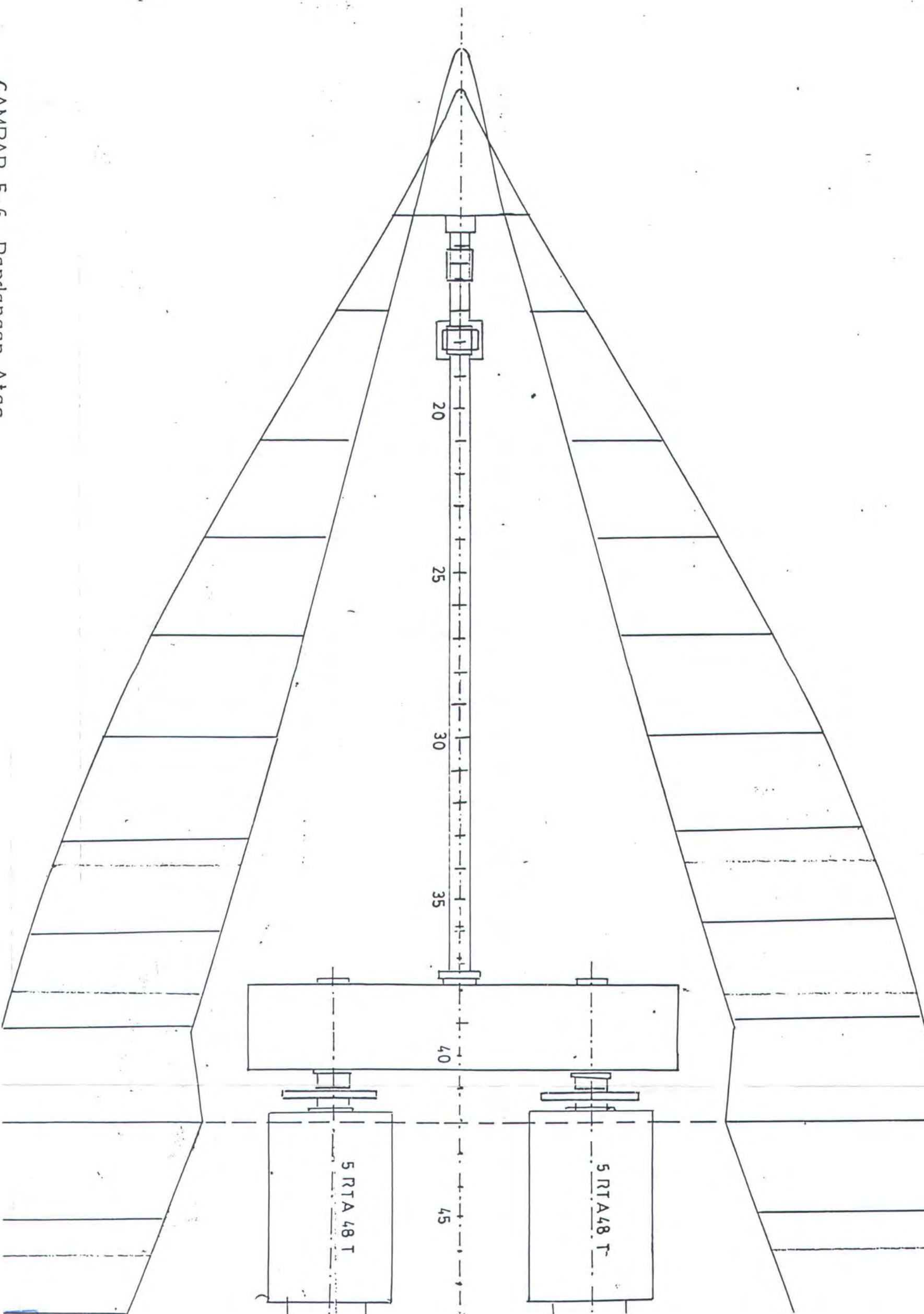
$$\text{Konsumsi bahan bakar} = 2 \times 270 \times 5754.73 \times 170.69 \times 24 \times 1.06$$
$$= 1349.41 \text{ ton per tahun}$$



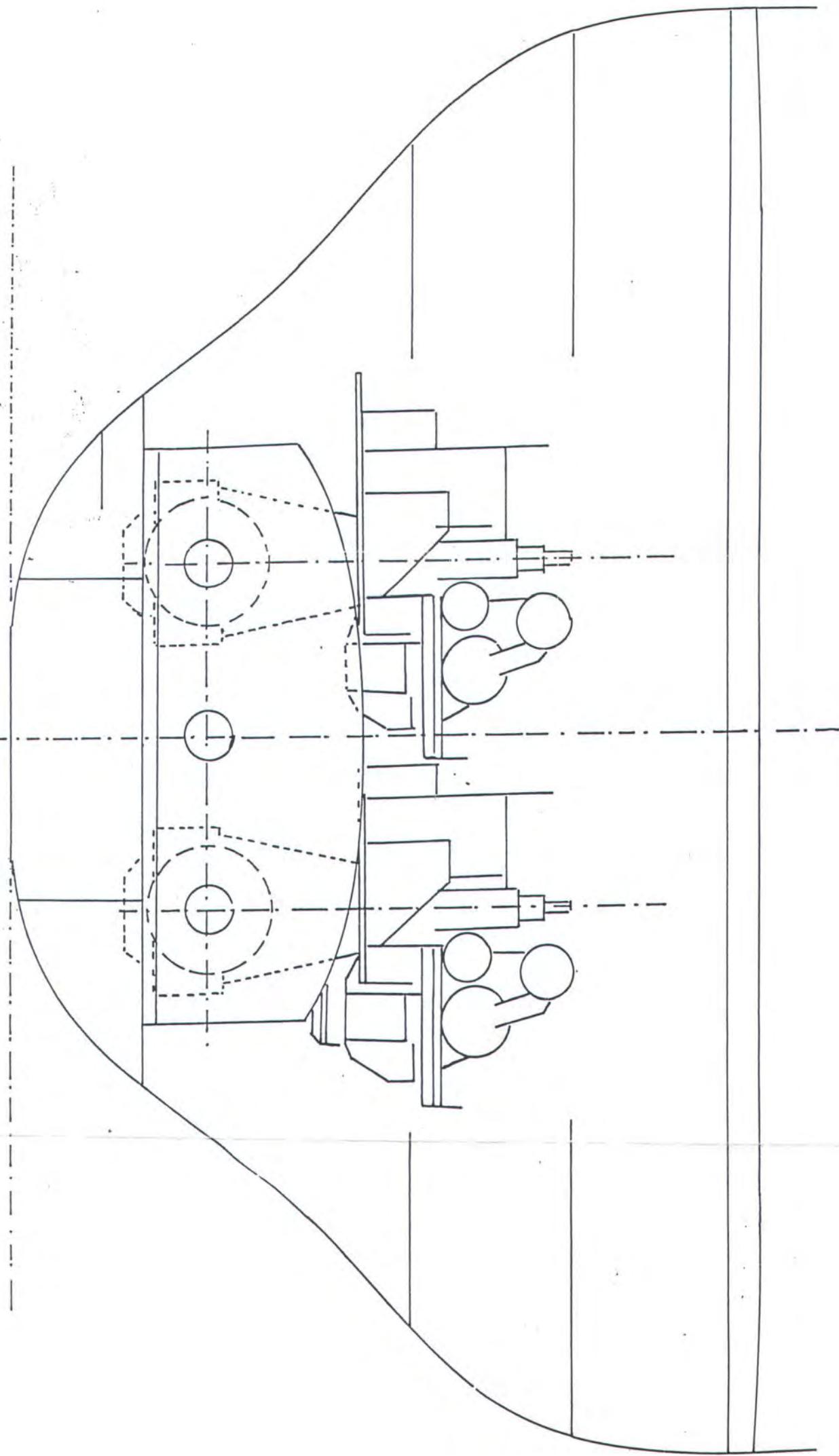
### 5.5 Peletakan Motor Induk di dalam Kamar Mesin

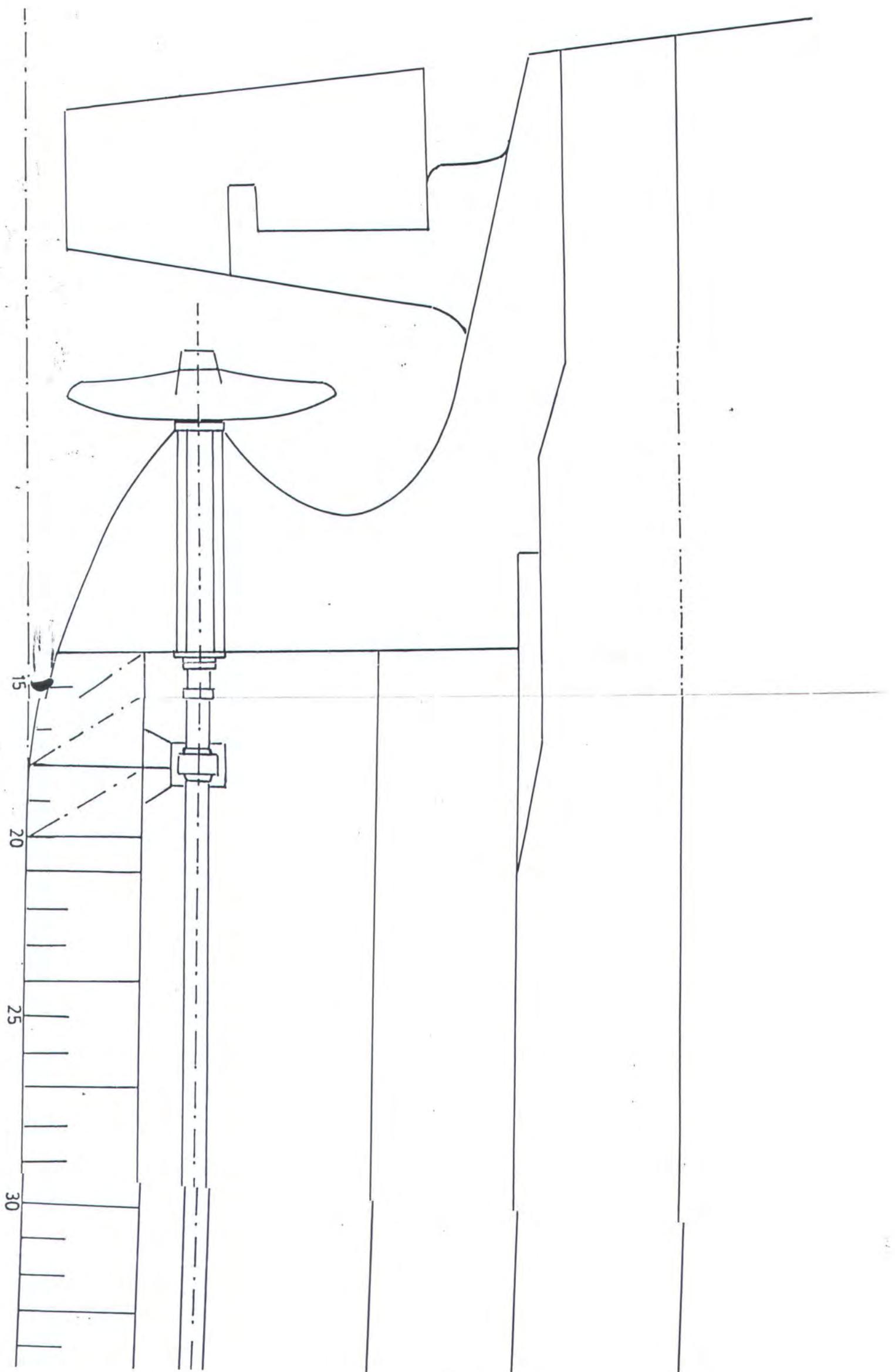
Peletakan motor induk pada kamar mesin KM Palwo Buwono 1600 TEU's mengalami permasalahan yaitu tidak tersedianya ruangan yang cukup bagi motor induk dan reduction gear. Untuk mengatasi permasalahan ini maka sekat kamar mesin harus digeser ke depan sejauh 9 jarak gading 7.2 m seperti terlihat pada gambar 5-6, 5-7 dan 5-8

Besarnya kamar mesin yang dibutuhkan oleh penggerak alternatif II ini sangatlah tidak menguntungkan disebabkan adanya kerugian yang ditimbulkan oleh berkurangnya volume ruangan muat. Besarnya pengurangan ruang muat tidak dibahas dalam tugas akhir ini.



GAMBAR 5-7. Penampang Melintang FRAME 38  
Skala 1:100





GAMBAR 5 - 8 . Pandangan Samping  
Skala 1:100

## **BAB VI**

# **PERBANDINGAN SPESIFIKASI MOTOR DAN ANALISA EKONOMIS**



## BAB VI

### PERBANDINGAN SPESIFIKASI MOTOR DAN ANALISA EKONOMIS

#### 6.1 Perbandingan spesifikasi motor

Perbandingan spesifikasi motor antara ketiga sistem penggerak utama yang telah dibahas dalam tugas akhir ini akan ditampilkan dalam bentuk tabel berikut:

| Merk               | MAN B&W                  | WARTSILA NSD          | WARTSILA NSD                            |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---|
| Type               | L 60 MC                  | RTA 62 U              | RTA 48 T                                |
| Jumlah             | 1                        | 1                     | 2                                       |
| Daya               | 13440 KW                 | 13320 KW              | 6800 KW                                 |
| RPM                | 123                      | 113                   | 124                                     |
| Jumlah langkah     | 2                        | 2                     | 2                                       |
| Jumlah silinder    | 7                        | 6                     | 5                                       |
| Diameter bore      | 600 mm                   | 620 mm                | 480 mm                                  |
| Panjang langkah    | 1944 mm                  | 2150 mm               | 2000 mm                                 |
| Bahan bakar        | HFO                      | HFO                   | HFO                                     |
| Panjang motor      | 9515 mm                  | 7940 mm               | 5314 mm                                 |
| Lebar motor        | 3228 mm                  | 3560 mm               | 3170 mm                                 |
| Tinggi motor       | 8700 mm                  | 10100 mm              | 8419 mm                                 |
| Berat motor        | 400 ton                  | 370 mm                | 170 mm                                  |
| Propeller          | NACA 16                  | B Series              | NACA 16                                 |
| Diameter propeller | 6200 mm                  | 6350 mm               | 6200 mm                                 |
| Jumlah daun        | 4                        | 4                     | 4                                       |
| Reduction Gear     | tidak ada                | tidak ada             | MDD 72                                  |
| Panjang Gear       | -                        | -                     | 2140 mm                                 |
| Lebar Gear         | -                        | -                     | 7283 mm                                 |
| Tinggi Gear        | -                        | -                     | 3607 mm                                 |
| Keterangan         | Penggerak yang telah ada | Alternatif I          | Alternatif II                           |
|                    |                          | Penggantian propeller | Memerlukan kamar mesin yang lebih besar |

Tabel 6-1 Perbandingan Spesifikasi Motor



Dengan melihat pada tabel 6-1 maka dibandingkan dengan penggerak utama yang telah ada ( MAN 7 L 60 MC ) maka:

a. Alternatif I ( 6 RTA 62 U ):

- Panjang motor lebih pendek
- Motor lebih ringan
- Motor lebih tinggi
- Motor dapat diletakkan dalam kamar mesin yang ada seperti dapat dilihat pada bab IV.

b. Alternatif II ( 2 x 5 RTA 48 T ):

- Panjang motor ditambah dengan panjang reduction gear serta poros lebih panjang.
- Lebar total kedua motor sangat besar.
- Tinggi motor lebih rendah.
- Penggunaan penggerak ini membutuhkan kamar mesin yang lebih besar seperti digambarkan pada bab V.

## 6.2 Analisa Ekonomis

Analisa ekonomis yang digunakan dalam tugas akhir ini berdasarkan metode yang digunakan dalam “ Propultion Plant Choice for a Medium Sized



Container Ship, Prof .Dr .Ing .Gallin, Delft University of Technologi". Alternatif pertama maupun kedua dalam tugas akhir ini akan dibandingkan dengan penggerak utama yang ada dengan menggunakan harga investasi (harga motor induk, reduction gear dan propeller ) dan konsumsi bahan bakar sebagai pembandingnya yang disebut sebagai Capital Recovery Factor. Dinyatakan sebagai formula berikut:

$$CRF = \frac{R}{P}$$

CRF = Capital Recovery Factor

R = Return

P = Investasi

Dalam hal ini yang dimaksud dengan Return adalah penghematan bahan bakar. Selain itu juga dikemukakan satu parameter lainnya yaitu Pay Out Period (POP) atau jangka waktu pengembalian investasi. POP dinyatakan sebagai formula berikut:

$$POP = \frac{P}{R}$$

Asumsi yang digunakan adalah bahwa biaya maintenance, instalasi dan insurance untuk semua alternatif maupun penggerak yang ada dianggap sama. Hasil yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk tabel 6-2 , sebagai berikut:



|                         |              | Penggerak yang telah ada<br>M A N B & W<br>7 L60 MC | Alternatif |               |
|-------------------------|--------------|---|------------|---------------|
|                         |              |   | I          | II            |
| Merk                    | satuan       | WARTSILA NSD  |            |               |
| Type                    |              | 6 RTA 62 U  | 5 RTA 48 T |               |
| Jumlah                  |              | 1   | 1          | 2             |
| MCR                     | KW           | 12447   | 12559      | 6394 12788    |
| Putaran                 | rpm          | 120   | 111        | 118           |
| SCR                     | KW           | 11202   | 11303      | 5755 11510    |
| Putaran                 | rpm          | 118   | 110        | 117           |
| Konsumsi Bahan Bakar(1) | Ton / tahun  | 1305  | 1283       | 674.7 1349.41 |
|                         | 1000\$/tahun | 104.4   | 102.64     | 97.16 (3)     |
| Penghematan (2)         | 1000\$/tahun | 0   | -1.76      | -7.24         |
| Harga Engine            | 1000\$       | 5685  | 5700       | 7544          |
| Selisih Harga Engine    | 1000\$       | 0   | 15         | 1859          |
| Harga Gear              | 1000\$       | 0   | 0          | 495           |
| Selisih Harga Gear      | 1000\$       | 0   | 0          | 495           |
| Harga Propeller         | 1000\$       | sama  | sama       | sama          |
| Selisih Harga Propeller | 1000\$       | 0   | 0          | 0             |
| Selisih investasi       | 1000\$       | 0   | 15         | 2354          |
| CRF                     |              | 0   | 0.11733    | 0.00308       |
| POP                     | tahun        | 0   | 8.52       | 325.138       |

Tabel 6-2 Analisa Ekonomis

- (1) harga bahan bakar digunakan data MER Agustus 1998 untuk bahan bakar HFO di Jakarta 80\$/ton
- (2) tanda minus menunjukkan terjadi penghematan
- (3) diasumsikan 80% kapal menggunakan dua engine dan 20% kapal berlayar dengan menggunakan satu engine.

Dari tabel 6-2 maka berdasarkan pada harga motor induk dan konsumsi bahan bakar saja dapat diambil kesimpulan bahwa alternatif I (6 RTA 62 U) merupakan alternatif terbaik dikarenakan memiliki angka CRF yang paling besar dan POP sebesar 8.52 tahun. Penghematan akan menjadi profit setelah kapal beroperasi selama 8.52 tahun. Sedangkan alternatif twin engine akan sangat mahal dalam investasi awal walaupun memiliki konsumsi bahan bakar yang terendah namun penghematan bahan bakar yang dicapai tidak sebanding dengan investasi awal yang besar.



Kesimpulan diatas hanya didasarkan pada harga motor induk dan konsumsi bahan bakar per tahun, untuk memperoleh gambaran yang lebih jauh maka seharusnya diadakan perhitungan tambahan mengenai biaya instalasi motor induk maupun perubahan konstruksi kamar mesin, biaya pemeliharaan dan repairing.

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**



## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem penggerak yang telah ada dengan menggunakan MAN B&W 7 L 60 MC sebagai motor induk, bekerja pada kondisi berikut ini:
  - Daya MCR = 12447 KW
  - Daya SCR = 11202 KW
  - Putaran motor pada SCR = 118 rpm
2. Alternatif I dengan menggunakan Wartsila NSD 6 RTA 62 U sebagai motor induk tidak dapat mencapai kecepatan service yang diinginkan yaitu 19,1 knot, sehingga memerlukan penggantian propeller. Dengan menggunakan propeller baru yaitu type B.4.55 dengan P/D = 0.86 dan diameter 6.35 maka bekerja pada kondisi berikut ini:
  - Daya MCR = 12559 KW
  - Daya SCR = 11303 KW
  - Putaran motor pada SCR = 110 rpm



3. Alternatif II dengan menggunakan twin engine Wartsila NSD RTA 48 T sebagai motor induk bekerja pada kondisi berikut ini:

- Daya MCR = 12788.3 KW
- Daya SCR = 11509.5 KW
- Putaran motor pada SCR = 118.5 rpm

Penggunaan hanya satu engine pada alternatif II tidak dapat dilakukan pada kondisi muatan penuh atau syarat air penuh. Twin engine Wartsila NSD RTA 48 T sebagai motor induk membutuhkan kamar mesin yang lebih besar.

4. Ditinjau dari analisa ekonomis alternatif I yang menggunakan Wartsila NSD 6 RTA 62 U sebagai motor induk merupakan pilihan yang terbaik sebab memiliki harga Capital Recovery Factor yang terbesar dan jangka waktu pengembalian investasi atau POP sebesar 8.5 tahun.

#### 4.2 Saran

1. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik diperlukan penambahan alternatif motor induk, baik motor diesel putaran rendah maupun motor diesel putaran menengah.
2. Penelitian hendaknya dikembangkan pada berbagai kondisi muatan untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap bagi penggunaan twin engine.



3. Penggunaan propeller jenis CPP perlu diteliti lebih lanjut dikarenakan luasnya penggunaan CPP pada penggerak twin engine.
4. Analisa ekonomis perlu diperluas hingga biaya maintenance dan instalasi serta memperhatikan *time value of money*.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **DAFTAR PUSTAKA**

- 1) Marine Engineering, Roy L.Harrington, The Society of Naval Architects and Marine Engineer, 1992
- 2) Propeller Hull Interaction, Derating Engines and Propeller Layout, Jan M.Hee, The Technical University of Denmark, Agustus 1983.
- 3) The Diesel Engine To Drive A Ship, J.B Woodward III, The Departement of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, Januari 1971.
- 4) Propultion Plant Choice for a Medium Sized Container Ship, Prof.DR.Ing.C.Gallin, Delft University of Technology, Agustus 1983.
- 5) Economical and Technical Studies of Fuel Saving Ships, Prof.DR.Ing.C.Gallin, O.Heiderich, Delft University of Technology, Agustus 1983.
- 6) Trends And Contraints Optimum Propultion System for VLCC/ULCC'S of The Nineties, Prof.DR.Ing.C.Gallin, 4<sup>th</sup> International Marine Systems Design Conference, Desember 1983.
- 7) Tahanan dan Propulsi Kapal, Sv.Aa Harvald, Airlangga University Press, 1983
- 8) The Design of Marine Screw Proppeller, T.P O'Brian CGIA Amrina, Hutchinson Scientific and Technical, 1969
- 9) Project Guide Two Stroke Engines, MC Programme, MAN B&W 1990.
- 10) Engine Selection and Project Manual Sulzer RTA 52 U, RTA 62 U, and RTA 72 U Diesel Engines, Nopember 1995.

## LAMPIRAN



11) Engine Selection and Project Manual Sulzer RTA 48 Tand RTA 58 T Diesel  
Engines, April 1996.

RESULT OF PREDICTION RESISTANCE  
CALCULATIONSMARIN  
CALCULATION OF OPEN WATER

V SERVICE = 19.1 KNOT  
THRUST DEDUCTION FRACT = 0.192  
WAKE FRACT = 0.3654

|      | V<br>KNOT | FN      | RFRICT<br>kN | RALL<br>kN | RAPP<br>kN | RWAVE<br>kN | RBU<br>kN | RTRA<br>kN | RAIR<br>kN | R<br>kN | PE<br>kW | V<br>M/S |
|------|-----------|---------|--------------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|---------|----------|----------|
| 50%  | 9.55      | 0.01174 | 86.92        | 17.34      | 1.81       | 76.57       | 0.15      | 0.00       | 6.40       | 188.692 | 926.95   | 4.91     |
| 60%  | 11.46     | 0.01408 | 126.30       | 24.96      | 2.60       | 110.26      | 0.21      | 0.00       | 9.21       | 271.716 | 1601.77  | 5.90     |
| 70%  | 13.37     | 0.01643 | 168.50       | 33.98      | 3.54       | 150.08      | 0.29      | 0.00       | 12.54      | 369.836 | 2543.56  | 6.88     |
| 80%  | 15.28     | 0.01878 | 221.64       | 44.38      | 4.63       | 196.02      | 0.38      | 0.00       | 16.38      | 483.051 | 3796.80  | 7.86     |
| 90%  | 17.19     | 0.02113 | 279.32       | 56.17      | 5.85       | 248.09      | 0.47      | 0.00       | 20.73      | 611.362 | 5405.99  | 8.84     |
| 100% | 19.10     | 0.02347 | 345.62       | 69.34      | 7.23       | 306.28      | 0.59      | 0.00       | 25.59      | 754.76  | 7415.53  | 9.83     |
| 110% | 21.01     | 0.02582 | 417.89       | 83.91      | 8.75       | 370.60      | 0.71      | 0.00       | 30.96      | 913.269 | 9870.19  | 10.81    |

## B-SERIES OPEN WATER CALCULATIONS

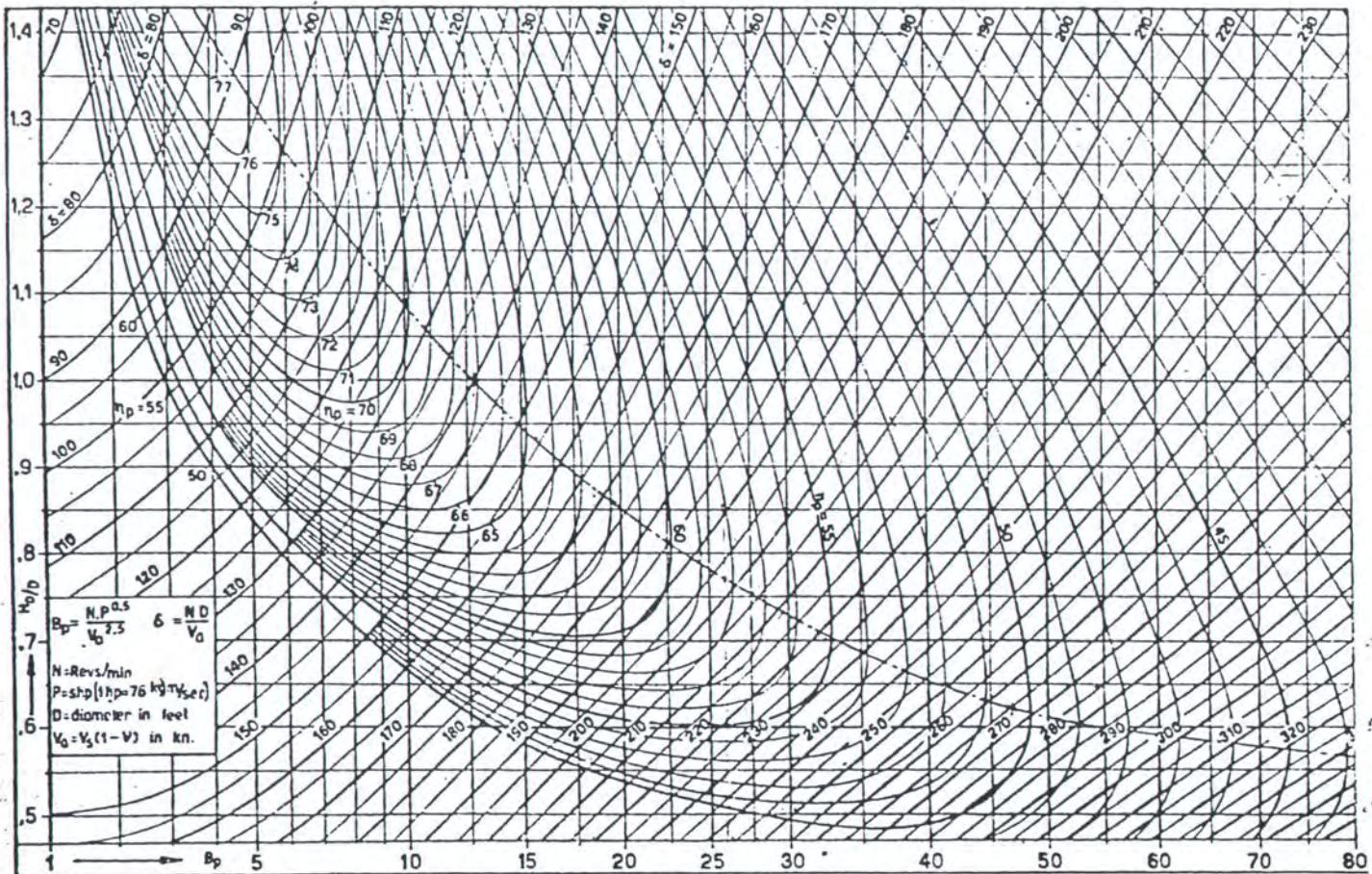
=====
 1. PROPELLER NUMBER : 02  
 2. BLADE AREA RATIO : 0.60400  
 3. PITCH DIAMETER RATIO : 0.79400  
 4. NUMBER OF BLADES : 4  
 5. DIAMETER : 6.20000 [M]  
 6. NUMBER OF REVOLUTION : 118 [RPM]

| J     | KT-O   | KQ-O    | ETA-O | V <sub>a</sub><br>m/s | Q<br>Nm    | T<br>N     |
|-------|--------|---------|-------|-----------------------|------------|------------|
| 0.000 | 0.3417 | 0.04090 | 0.000 | 0.0000                | 1449255.00 | 19530C2.13 |
| 0.050 | 0.3286 | 0.03958 | 0.066 | 0.6097                | 1402509.75 | 1877787.63 |
| 0.100 | 0.3143 | 0.03816 | 0.131 | 1.2193                | 1352142.75 | 1796343.75 |
| 0.150 | 0.2990 | 0.03664 | 0.195 | 1.8290                | 1298198.25 | 1708981.13 |
| 0.200 | 0.2828 | 0.03501 | 0.257 | 2.4387                | 1240720.63 | 1616010.75 |
| 0.250 | 0.2656 | 0.03329 | 0.317 | 3.0483                | 1179754.50 | 1517742.75 |
| 0.300 | 0.2475 | 0.03148 | 0.375 | 3.6580                | 1115344.13 | 1414488.38 |
| 0.350 | 0.2286 | 0.02956 | 0.431 | 4.2677                | 1047534.00 | 13C6557.75 |
| 0.400 | 0.2090 | 0.02755 | 0.483 | 4.8773                | 976368.56  | 1194262.25 |
| 0.450 | 0.1886 | 0.02545 | 0.531 | 5.4870                | 901892.00  | 1077912.25 |
| 0.500 | 0.1676 | 0.02326 | 0.573 | 6.0967                | 824149.06  | 957818.50  |
| 0.550 | 0.1460 | 0.02097 | 0.609 | 6.7063                | 743183.81  | 834291.63  |
| 0.600 | 0.1238 | 0.01860 | 0.636 | 7.3160                | 659040.81  | 707642.31  |
| 0.650 | 0.1012 | 0.01614 | 0.649 | 7.9257                | 571764.31  | 578181.50  |
| 0.700 | 0.0781 | 0.01359 | 0.640 | 8.5353                | 481398.97  | 446219.69  |
| 0.750 | 0.0546 | 0.01095 | 0.595 | 9.1450                | 387989.06  | 312067.63  |
| 0.800 | 0.0308 | 0.00823 | 0.477 | 9.7547                | 291579.25  | 176036.30  |
| 0.850 | 0.0067 | 0.00542 | 0.168 | 10.3643               | 192213.56  | 38436.00   |
| 0.864 | 0.0000 | 0.00462 | 0.000 | 10.5350               | 0.00       | 0.00       |

B-SERIES OPEN WATER CALCULATIONS

1. PROPELLER NUMBER : 03
2. BLADE AREA RATIO : 0.55
3. PITCH DIAMETER RATIO : 0.86
4. NUMBER OF BLADES : 4
5. DIAMETER : 5 35
6. NUMBER OF REVOLUTION : 110

| J     | KT-0    | KQ-0    | ETA-0  | V <sub>a</sub><br>m/s | Q<br>Nm    | T<br>N     |
|-------|---------|---------|--------|-----------------------|------------|------------|
| 0.100 | 0.3396  | 0.04342 | 0.124  | 1.0747                | 1578566.10 | 2106032.55 |
| 0.150 | 0.3252  | 0.04192 | 0.185  | 1.6120                | 1524002.83 | 2016902.96 |
| 0.200 | 0.3099  | 0.04032 | 0.245  | 2.1493                | 1465948.70 | 1921676.27 |
| 0.250 | 0.2936  | 0.03863 | 0.302  | 2.6867                | 1404355.08 | 1820659.67 |
| 0.300 | 0.2764  | 0.03684 | 0.358  | 3.2240                | 1339173.31 | 1714160.35 |
| 0.350 | 0.2584  | 0.03494 | 0.412  | 3.7613                | 1270354.76 | 1602485.48 |
| 0.400 | 0.2396  | 0.03295 | 0.463  | 4.2987                | 1197850.73 | 1485942.25 |
| 0.450 | 0.2201  | 0.03085 | 0.511  | 4.8360                | 1121612.72 | 1364837.85 |
| 0.500 | 0.1999  | 0.02865 | 0.555  | 5.3733                | 1041591.94 | 1239479.47 |
| 0.550 | 0.1790  | 0.02635 | 0.595  | 5.9107                | 957739.80  | 1110174.28 |
| 0.600 | 0.1576  | 0.02393 | 0.629  | 6.4480                | 870007.64  | 977229.47  |
| 0.650 | 0.1356  | 0.02141 | 0.655  | 6.9853                | 778346.84  | 840952.23  |
| 0.700 | 0.1131  | 0.01878 | 0.671  | 7.5227                | 682708.74  | 701649.74  |
| 0.750 | 0.0902  | 0.01604 | 0.672  | 8.0600                | 583044.70  | 559529.18  |
| 0.800 | 0.0669  | 0.01318 | 0.647  | 8.5973                | 479306.07  | 415197.75  |
| 0.850 | 0.0433  | 0.01022 | 0.574  | 9.1347                | 371444.22  | 268662.62  |
| 0.900 | 0.0194  | 0.00714 | 0.389  | 9.6720                | 259410.49  | 120330.98  |
| 0.950 | -0.0048 | 0.00394 | -0.183 | 10.2093               | 143156.24  | -29489.98  |
| 1.000 | -0.0291 | 0.00062 | -7.440 | 10.7467               | 22632.83   | -180493.09 |

Fig. 3.16 Troost B.4 - 55  $B_p - \delta$  Chart

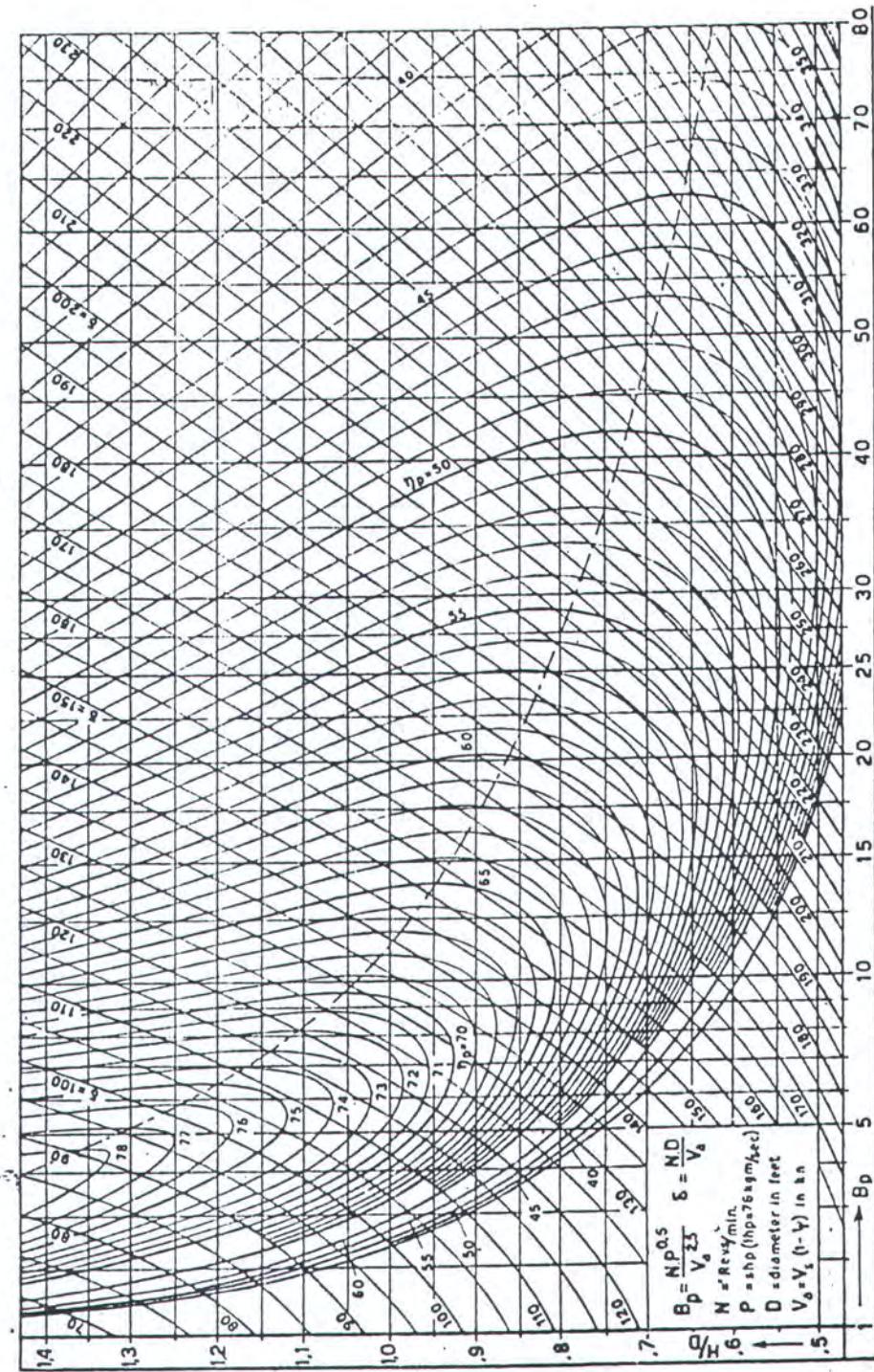
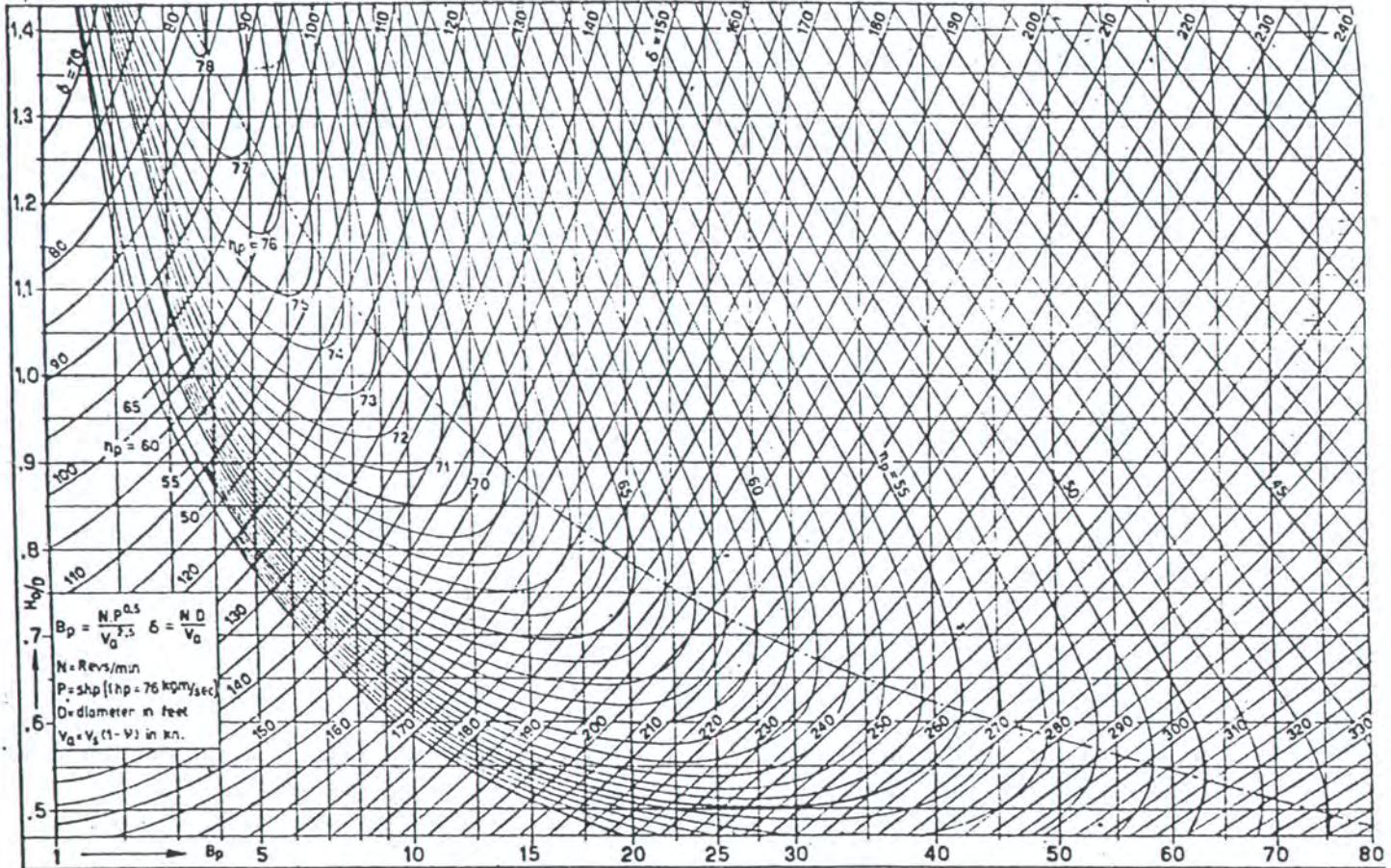


Fig. 3.14 Troost B.3 - 65 Bp - δ Chart

Fig. 3.15 Troost B.4 - 40  $B_p$  -  $\delta$  Chart

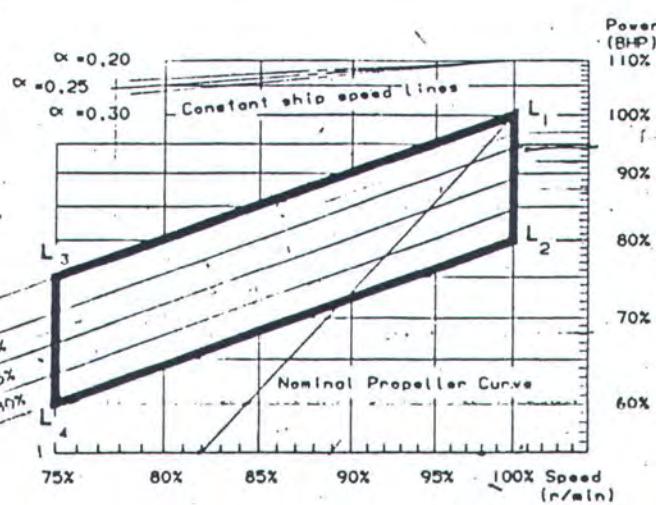
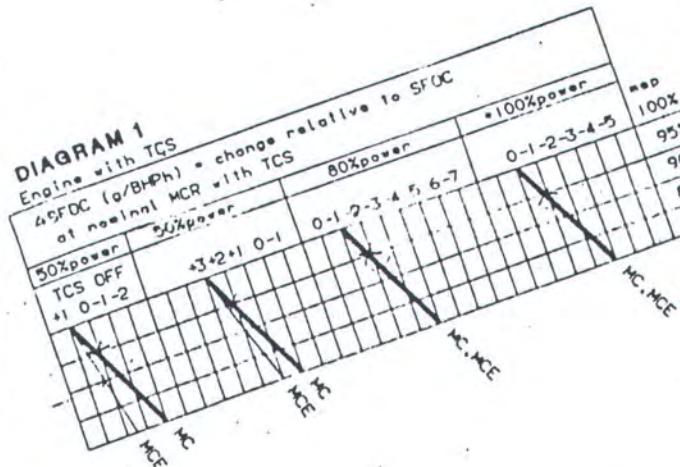
# Layout Diagram MC/MCE

Engine with TCS and fixed pitch propeller

Valid for 90-80-70-60 and 50MC/MCE

(TCS can not be applied on L42)

Please note that BHP to be used is total BHP from engine and TCS, coupled to the engine shaft.



\*100% power = optimized rating

| SFOC, g/BHPH |       |     |
|--------------|-------|-----|
|              | MC    | MCE |
| K 90         | 121   | 118 |
| K 90-2       | 122   |     |
| L 90         | 121   | 118 |
| S 80         | 121   | 118 |
| K 80         | 122   | 119 |
| L 80         | 122   | 119 |
| S 70         | 121   | 118 |
| L 70         | 122   | 119 |
| S 60         | 122   | 119 |
| L 60         | (123) | 120 |
| S 50         | 123   | 120 |
| L 50         | 124   | 121 |

$$\text{g/kWh} = \frac{\text{g/BHPH}}{0.7355}$$

|                      |        |
|----------------------|--------|
| Engine type:         |        |
| Data at nominal MCR: |        |
| 100% Power:          | BHP    |
| 100% Speed:          | r/min  |
| nominal SFOC:        | g/BHPH |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Data at specified MCR |        |
| 100% Power:           | BHP    |
| 100% Speed:           | r/min  |
| SFOC:                 | g/BHPH |

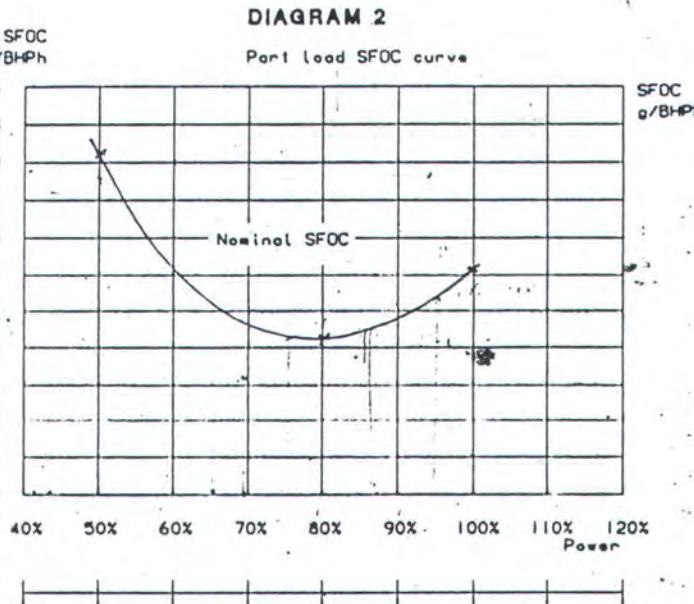


Fig. 3.9



## B1 Introduction

Selection of a suitable main engine to meet the power demands of a given project involves proper tuning in respect of load range and the influence of operating conditions which are likely to prevail throughout the entire life of the ship. This chapter explains the main principles in selecting a Sulzer RTA low-speed diesel engine.

Every engine has a layout field within which the power / speed ratio (= rating) can be selected. It is limited by envelopes defining the area where 100 per cent firing pressure (i.e. nominal maximum pressure) is available for the selection of the contract maximum continuous rating (CMCR). Contrary to the 'layout field', the 'load range' is the admissible area of operation once the CMCR has been determined.

In order to define the required contract maximum continuous rating, various parameters such as propulsive power, propeller efficiency, operational flexibility, power and speed margins, possibility of a main-engine driven generator, and the ship's trading patterns need to be considered.

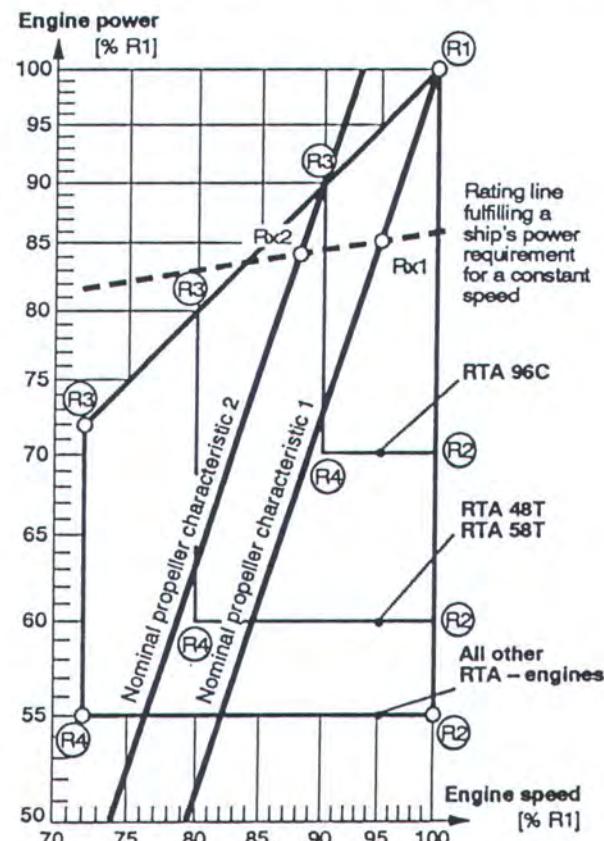
Selecting the most suitable engine is vital to achieving an efficient cost / benefit response to a specific transport requirement.

The layout fields of the Sulzer RTA48T and RTA58T engines are shown in the power and speed graph figure 1.

## B2 Layout field

The layout field shown in figure 2 is the area of power and engine speed within which the contract maximum continuous rating of an engine can be positioned individually, to give the desired combination of propulsive power and rotational speed. Engines within this layout field will be tuned for maximum firing pressure and best fuel efficiency. Experience over the last five years has shown that engines are ordered with CMCR points in the

upper part of the layout field only. It was therefore decided for the future to define the layout fields for every new engine or engine range in order to provide the most cost effective solution for the projected application.



7056-03/F100483

**Fig. 2** Layout field applicable to the RTA engines.  
The contracted maximum continuous rating ( $R_x$ ) may be freely positioned within the layout field for that engine.

The engine speed is given on the horizontal axis and the engine power on the vertical axis of the layout field, both are expressed in per cent (%) of the respective engine's nominal R1 parameters. Percentage values are being used so that the same diagram can be applied to various engine models. The scales are logarithmic so that exponential curves, such as propeller characteristics (cubic power) and mean effective pressure (mep) curves (first power), are straight lines.

The layout field serves to determine the specific fuel oil consumption, exhaust gas flow and tem-

## B. Considerations on Engine Selection (RTA48T/RTA58T)

perature, fuel injection parameters, turbocharger and scavenge air cooler specifications for a given engine.

Calculations for specific fuel consumption, exhaust gas flows and temperature after turbine are explained in later chapters.

### B2.1 Rating points R1, R2, R3 and R4

The rating points for the RTA48T and RTA58T engines R1, R2, R3 and R4 are the corner points of the engine layout field. **R1** represents the nominal maximum continuous rating (MCR). It is the maximum power / speed combination which is available for a particular engine. 10 per cent overload thereof is permissible for one hour during sea trials in the presence of authorized representatives of the engine builder.

The point **R2** defines 100 per cent speed and 60 per cent power. The point **R3** is at 80 per cent power and speed.

The connection **R1–R3** is the nominal 100 per cent line of constant mean effective pressure.

The point **R4** designates 80 per cent speed at 60 per cent power.

The line **R2–R4** is a line of 60 per cent power between 80 and 100 per cent speed.

Points such as Rx are power / speed ratios for the selection of contracted maximum continuous ratings required for individual applications. Rating points Rx can be selected within the entire layout field for that particular engine.

### B2.2 Power requirement for a constant ship speed

The power which is required to propel the ship at any given speed decreases with lower propeller speed and larger propellers.

The relative change of power requirement can be approximated in a simplified way:

$$P_{x_2}/P_{x_1} = (N_2/N_1)^\alpha$$

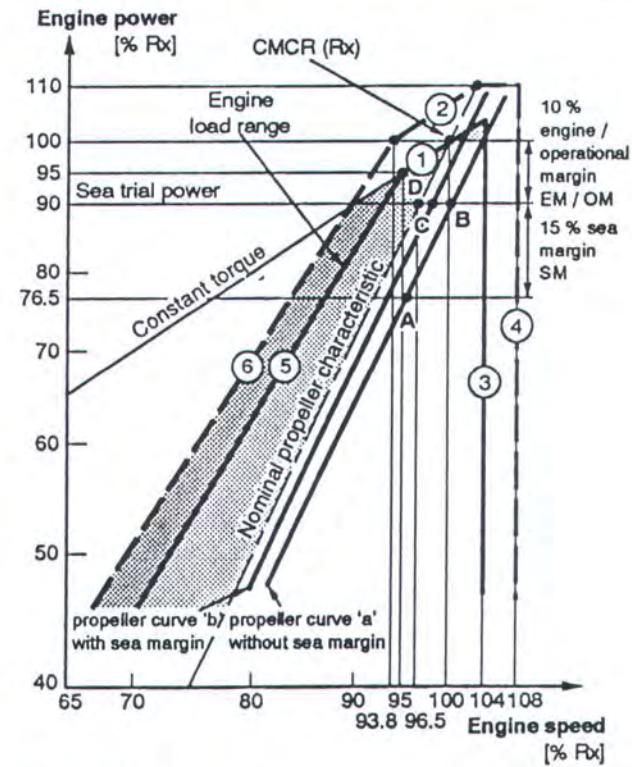
where

$P_{x_i}$  = propulsion power at two different propeller speeds

$N_i$  = corresponding propeller speeds

$\alpha$  = exponent between 0.15 and 0.3:  
depending on speed, ship's size and geometry of the hull

From the above follows that, when a power / speed combination is known to be required, for example point Rx<sub>1</sub> as shown in figure 2 , a CMCR line for a given ship's speed, following the above approximation, can be drawn through the point Rx<sub>1</sub>. This is a straight line with a slope  $\alpha$ , shown as a dashed line, i.e. through Rx<sub>2</sub> in figure 2 . Any other point on this line represents a new power / speed combination, requiring a new adaptation of the propeller.



7056-03/F100484

Fig. 3 Load range, with the load diagram of an engine corresponding to a specific rating point Rx

The diameter of the propeller selected for a particular ship is generally the largest that is reasonable. Depending on the type of vessel, its diameter will be restricted by operational requirements (trim and draught), physical restrictions (stern aperture) or pressure impulses induced on the hull (propeller tip clearance and number of blades), and commercial considerations (engine and propeller prices).

### B3 Load range

The load range diagram shown in figure 3 defines the power / speed limits for the operation of the engine. For simplicity and general application to all engine models, the scales for power and speed are logarithmic and given in percentage values of the CMCR ( $R_x$ ) point. In practice absolute figures might be used for a specific installation project.

#### B3.1 Propeller curves 'a' and 'b'

In order to establish the proper location of propeller curves 'a' and 'b', it is necessary to know the ship's response to varying conditions.

Propeller curve 'a' is for a ship with a new and clean hull in calm water and weather, while curve 'b' includes margins for ageing, fouling, wind, and sea states.

These propeller curves can be determined by using full scale trial results of similar ships, algorithms developed by maritime research institutes or model tank results. Furthermore, it is necessary to define the maximum reasonable diameter of the propeller which can be fitted to the ship. With this information at hand and by applying propeller series such as the 'Wageningen', 'SSPA' (Swedish Maritime Research Association), 'MAU' (Modified AU), etc., the power / speed relationships can be established and characteristics 'a' and 'b' developed.

The relation between absorbed power and rotational speed for a fixed-pitch propeller can be approximated by the following cubic relationship:

$$P_2/P_1 = (N_2/N_1)^3$$

in which

$P_i$  = propeller power

$N_i$  = propeller speed

Propeller curve 'a' is often called the light running curve while propeller curve 'b' is called the service curve. The nominal propeller characteristic is a cubic curve through the CMCR point. (For additional information, refer to the 'Definition of light running margin' in B3.8).

#### B3.2 Sea margin (SM)

The increase in required power to maintain a given ship's speed in calm weather (point 'A' in figure 3) and under average service condition (point 'C'), is defined as the 'sea margin'. This margin can vary depending on owner's and charterer's expectations, routes and schedules of the ship. The location of the reference point 'A' and the magnitude of the sea margin are determined between the shipbuilder and the owner. They form part of the new-building contract.

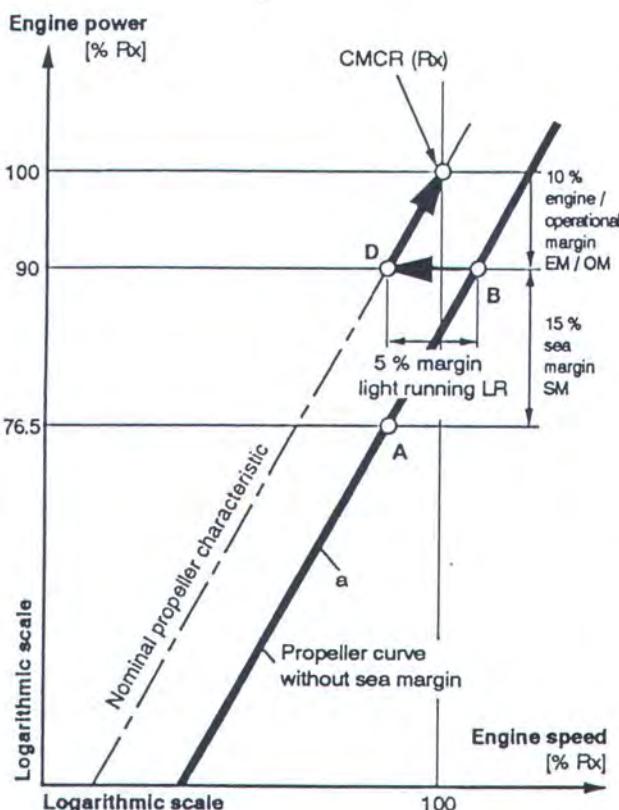
With the help of effective antifouling paints, dry-docking intervals have been prolonged up to 4 or 5 years. Therefore, it is still realistic to provide an average sea margin of about 15 per cent of the sea trial power, refer to figure 3 , unless as mentioned above, the actual ship type and service route dictate otherwise.

#### B3.3 Light running margin (LR)

The sea trial performance (curve 'a') in figure 4 should allow for a 5–6 per cent light running of the propeller when compared to the nominal propeller characteristic. This is in order to provide a sufficient torque reserve whenever full power must be attained under unfavourable conditions. Normally, the propeller is hydrodynamically optimized for a point 'B'. The trial speed found for 'A' is equal to the service speed at 'C' stipulated in the contract at 90 per cent of CMCR. The recommended light running margin originates from past experience. It

## B. Considerations on Engine Selection (RTA48T/RTA58T)

varies with specific ship designs, speeds, drydocking intervals, and trade routes. (For additional information, refer to the 'Definition of light running margin' B3.8).



7056-03/F100485

Fig. 4 Load range diagram for a specific engine showing the corresponding power and speed margins

### B3.4 Engine margin (EM) or operational margin (OM)

Most owners specify the contractual ship's loaded service speed at 85 to 90 per cent of the contract maximum continuous rating. The remaining 10 to 15 per cent power can then be utilized to catch up with delays in schedule or for the timing of drydocking intervals. This margin is usually deducted from the CMCR. Therefore, the 100 per cent power line is found by dividing the sea trial power by 0.85 to 0.90. The graphic approach to find the level of CMCR is illustrated in figures 3, 4 and 5.

In the examples two current methods are shown. Figure 3 presents the method of fixing point 'B'

and CMCR at 100 per cent speed thus obtaining automatically a light running margin B-D of 3.5 per cent. Figures 4 and 5 show the method of plotting the light running margin from point 'B' to point 'D' or 'D'' (in our example 5 per cent) and then along the nominal propeller characteristic to obtain the CMCR point. In the examples point B was chosen to be at 90 per cent engine power.

#### B3.4.1 Continuous service rating (CSR=NOR=NCR)

Point 'A' represents power and speed of a ship operating at contractual speed in calm seas with a new clean hull and propeller. On the other hand, the same ship at the same speed requires a power / speed combination according to point 'C' shown in figure 3 under service condition with aged hull and average weather. 'C' is then the CSR point.

#### B3.4.2 Contract maximum continuous rating (CMCR = Rx)

By dividing CSR by 0.90 (in our example), an operational margin of 10 per cent is provided, see figures 3 and 4. The found point Rx, also designated as CMCR, can be selected freely within the layout field defined by the four corner points R1, R2, R3 and R4, see figure 2.

Normally, engines are optimized for the selected CMCR point.

## B. Considerations on Engine Selection (RTA48T/RTA58T)

### B3.5 Load range limits

Once an engine is optimized at CMCR (Rx), the working range of the engine is limited by the following border lines, refer to figure 3:

Line ① is a constant mep line through CMCR from 100 per cent speed and power down to 95 per cent power and speed.

Line ② is the **overload limit**. It is a constant mep line reaching from 100 per cent power and 93.8 per cent speed to 110 per cent power and 103.2 per cent speed. The latter is the point of intersection between the nominal propeller characteristic and 110 per cent power.

Line ③ is the 104 per cent speed limit. For speed derated engines ( $N_{CMCR} \leq 0.98 N_{MCR}$ ) this limit can be extended to 106 per cent if torsional vibration limitations are not exceeded.

Line ④ is the **overspeed limit** at 108 per cent speed. The overspeed range between 104 and 108 per cent speed is only permissible during sea trials if needed to demonstrate the ship's speed at CMCR power with a light running propeller in the presence of authorized representatives of the engine builder.

The area between lines ⑤ and ⑥ and constant torque should only be used for transient conditions, i.e. during fast acceleration. This range is called '**service range with operational time limit**'. As already stated above, the area between the nominal propeller characteristic and line ⑤ is not an ideal zone for continuous operation of the engine.

Line ⑤ reaches from 95 per cent power and speed to 45 per cent power and 70 per cent speed. This represents a curve defined by the equation:

$$P_2/P_1 = (N_2/N_1)^{2.45}$$

When approaching line ⑤, the engine will increasingly suffer from lack of scavenge air and its consequences. The area formed by lines ①, ③ and ⑤ represents the range within which the engine should be operated. More specifically, the area which is limited by the nominal propeller characteristic, 100 per cent power and line ③ is recommended for continuous operation. The area between the nominal propeller characteristic (figures 3, 4 and 5) and line ⑤ should be reserved for acceleration, shallow water and normal operational flexibility.

Line ⑥ is defined by the equation:

$$P_2/P_1 = (N_2/N_1)^{2.45}$$

through 100 per cent power and 93.8 per cent speed.

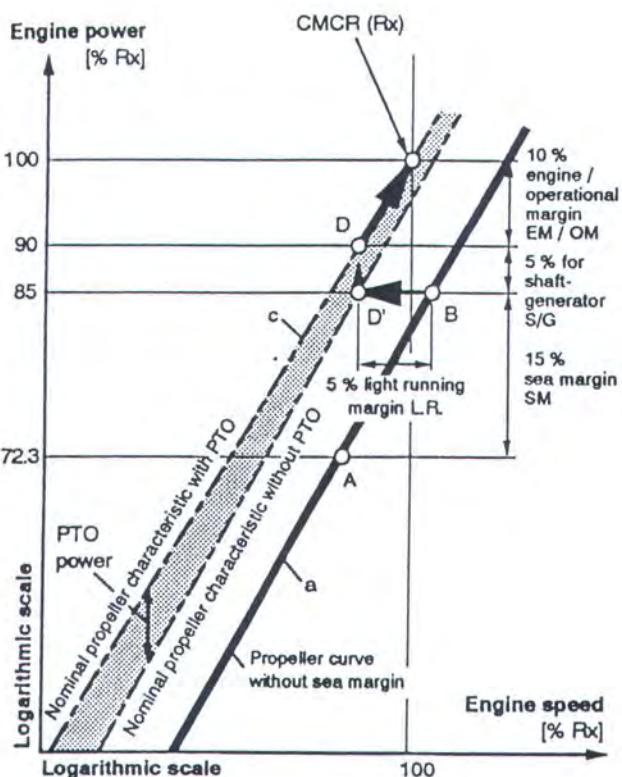
The area above line ① is the **overload range**. It is only allowed to operate engines in that range for a maximum duration of one hour during sea trials in the presence of authorized representatives of the engine builder.

### B3.6 Load range with main-engine driven generator

The load range with main-engine driven generator, whether it is a shaft generator (S/G) mounted on the intermediate shaft or driven through a power take off gear (PTO), is very similar to that in figure 4. The difference is an additional range for the PTO, limited by curve 'c' as shown in figure 5. This curve is not parallel to the propeller characteristic without main-engine driven generator because of the varying magnitude of a constant power in a logarithmic scale. In the example of figure 5, the main-engine driven generator is assumed to absorb 5 per cent of the nominal engine power.

Of course, the CMCR point thus found must also lie within the layout field of the engine as shown in figure 2.

**B. Considerations on Engine Selection (RTA48T/RTA58T)**



7056-03/F100486

**Fig. 5** Load range diagram for an engine equipped with a main-engine driven generator, whether it is a shaft generator or a PTO-driven generator

### B3.7 Definitions

#### Engine layout field:

Power / speed field within which the CMCR of an engine may be freely positioned. The four corner points of the engine layout field are R1, R2, R3 and R4 (refer also to B2).

#### Engine load range:

Admissible power / speed area of operation based on the CMCR point (see also B3).

### B3.8 Definition of light running margin

The recommended 'light running' of a propeller under new hull, loaded sea trial condition, is to 'compensate for the expected future drop in revolutions for constant-power operation. Assumptions:

- Drydocking intervals of ship: 5 years;
- Time between main engine overhauls: 2 years or more;
- The full service speed must be attainable under less than favourable conditions and without exceeding 100 per cent mep, without surpassing the torque limit;
- Total drop of 5 to 6 per cent, at any given power, is brought about by the following influences and can be split up as follows:

#### Light running margin:

1. 1.5–2 % influence of wind and weather with an adverse effect of the intake water flow of the propeller. Difference between Beaufort 2 sea trial condition and Beaufort 4–5 average service condition. For vessels with a pronounced wind sensitivity, i.e. containerships with 5–6 tiers of boxes on deck, this value will be exceeded.
2. 1.5–2 % increase of ship's resistance and mean effective wake brought about by:
  - Rippling of hull (frame to frame);
  - Fouling of local, damaged areas, i.e. boot top and bottom of the hull;
  - Formation of roughness under paint;
  - Influence on wake formation due to small changes in trim and immersion of bulbous bow, particularly in the ballast condition.
3. 1 % frictional losses due to increase of propeller blade roughness and consequent drop in efficiency, e.g. aluminium bronze propellers:
  - New: surface roughness = 12 microns;
  - Aged: rough surface but no fouling = 40 microns.
4. 1 % deterioration in engine efficiency such as:
  - Fouling of scavenge air coolers;
  - Fouling of turbochargers;
  - Condition of piston rings;
  - Fuel injection system (condition and / or timing);
  - Increase of back pressure due to fouling of the exhaust gas boiler, etc.

## B. Considerations on Engine Selection (RTA48T/RTA58T)

## B4 Primary engine data

|  |          | RTA48T                         |      |        |      | RTA58T                         |        |        |        |
|--|----------|--------------------------------|------|--------|------|--------------------------------|--------|--------|--------|
| Bore x stroke [mm]   |          | 480 x 2000                     |      |        |      | 580 x 2416                     |        |        |        |
| Speed [rpm]  |          | 124                            | 124  | 99     | 99   | 103                            | 103    | 82     | 82     |
| Cylinder   | Power    | R1                             | R2   | R3     | R4   | R1                             | R2     | R3     | R4     |
| 5  | [kW]     | 6800                           | 4100 | 5450   | 4100 | 10 000                         | 6000   | 8000   | 6000   |
|  | [bhp]    | 9250                           | 5600 | 7400   | 5600 | 13 600                         | 8150   | 10 900 | 8150   |
| 6  | [kW]     | 8160                           | 4920 | 6540   | 4920 | 12000                          | 7200   | 9600   | 7200   |
|  | [bhp]    | 11 100                         | 6720 | 8880   | 6720 | 16 320                         | 9780   | 13 080 | 9780   |
| 7  | [kW]     | 9520                           | 5740 | 7630   | 5740 | 14 000                         | 8400   | 11 200 | 8400   |
|  | [bhp]    | 12 950                         | 7840 | 10 360 | 7840 | 19 040                         | 11 410 | 15 260 | 11 410 |
| 8  | [kW]     | 10 880                         | 6560 | 8720   | 6560 | 16 000                         | 9600   | 12 800 | 9600   |
|  | [bhp]    | 14 800                         | 8960 | 11 840 | 8960 | 21 760                         | 13 040 | 17 440 | 13 040 |
| Brake specific fuel consumption (BSFC)   |          |                                |      |        |      |                                |        |        |        |
| 85 %   | [g/kWh]  | 170                            | 164  | 171    | 166  | 169                            | 163    | 170    | 165    |
|  | [g/bhph] | 125                            | 121  | 126    | 122  | 124                            | 120    | 125    | 121    |
| 100 %  | [g/kWh]  | 174                            | 164  | 174    | 167  | 173                            | 163    | 173    | 166    |
|  | [g/bhph] | 128                            | 121  | 128    | 123  | 127                            | 120    | 127    | 122    |
| mep  | [bar]    | 18.2                           | 11.0 | 18.3   | 13.7 | 18.3                           | 11.0   | 18.3   | 13.8   |
| Lubricating oil consumption (for fully run-in engines and under normal operating conditions) |          |                                |      |        |      |                                |        |        |        |
| System oil   |          | approximately 6 kg/cyl per day |      |        |      | approximately 7 kg/cyl per day |        |        |        |
| Cylinder oil *1)   |          | 0.9–1.3 g/kWh                  |      |        |      |                                |        |        |        |

Remarks: \*1) This data is for guidance only, it may have to be increased as the actual cylinder lubricating oil consumption in service is dependent on a number of operational factors. For tank capacities, refer to tables 24 (RTA48T) and 48 (RTA58T).

Table 1 Primary engine data

7056-03/T100155

## C. RTA48T Engine

### C2 Engine data

#### C2.1 Estimation of engine performance data

We offer a computerized information service to analyse the engine's heat balance and determine main system data for any rating point within the engine layout field. For details of this service please refer to chapter C5.1.2.1.

Standard operating parameters for diesel engines are based on the following **standardized condition (ISO standard 3046-1)**:

Engine inlet air temperature of 25 °C, scavenge air cooling water inlet temperature of 25 °C, barometric pressure of 1 bar (750 mm Hg).

However, the operating parameters for complete marine installations are based on **tropical conditions** specified by the classification societies: ambient air temperature 45 °C, scavenge air cooling water inlet temperature 32 °C for sea-water, 36 °C for fresh water and an atmospheric pressure of 1 bar (750 mm Hg).

We have taken all these factors into consideration when sizing coolers, heat exchangers and designing systems and unless the vessel is going to operate in extreme conditions, engine output is not affected. The following engine data take into account the range of ambient conditions but are strictly based on the condition and specification of the fuel, i.e. lower calorific value (LCV) of 42.7 MJ/kg.

The Sulzer RTA48T is designed for running with a wide range of fuels from **marine diesel oil (MDO)** to **heavy fuel oils (HFO)** of different qualities, the limits of which are given in table 22 'Fuel oil requirements' and assumes that the onboard treatment plant is capable of processing it to reduce the content of harmful substances and optimize the viscosity.

If there is any doubt about the fuel quality available to the vessel and the effect this fuel may have on the engine, please contact our representative or New Sulzer Diesel Ltd directly.

#### How to estimate the engine main parameters?

Chapters C2.1.1, C2.1.2 and C2.1.3 describe the method, how to estimate the engine main parameters at any rating point and any part load of it. As main parameters are considered the brake specific fuel consumption (BSFC), the brake specific exhaust gas flow (BSEF) and the exhaust gas temperature after turbine (tEaT). The method for the estimation of these parameters remains the same:

- The rating point Rx (CMCR) determines an engine torque and gives the corresponding base values at CMCR (means 100 % Rx) by linear interpolation.
- The determination of the main parameters at part load proceeds as follows:
  - For both minimum and maximum engine speed (i.e. 80 % R<sub>1</sub> speed and 100 % R<sub>1</sub> speed) the parameters have to be estimated for the corresponding engine torque.
  - The engine design speed Rx is considered by the linear interpolation of the pre-estimated parameters at the corresponding engine torque for minimum and maximum speed.

### C2.1.1 Estimating brake specific fuel consumption (BSFC)

**Estimation of BSFC for  
6RTA48T CMCR (Rx) specified:**

Power (Rx) = 87.0 % R1 = 7099 kW  
Speed (Rx) = 95.2 % R1 = 118 rpm

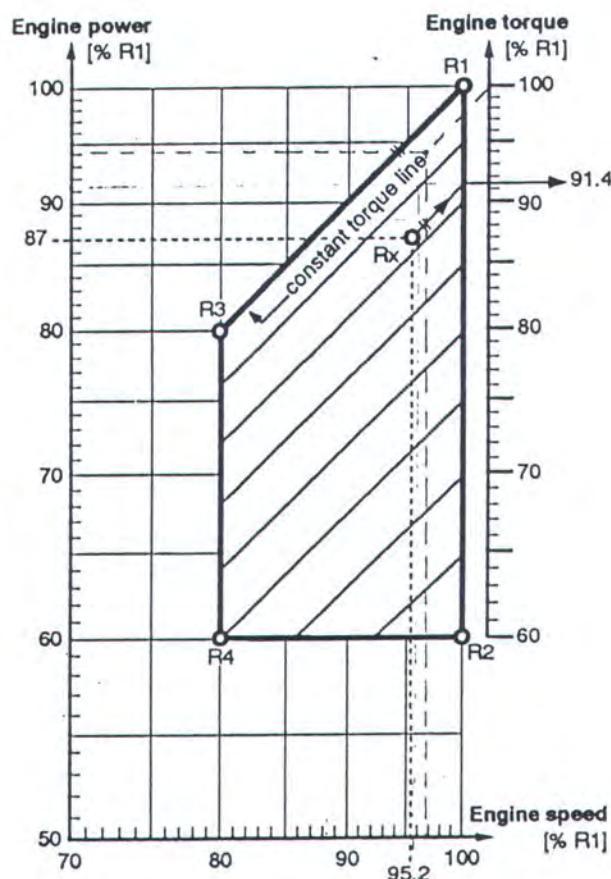
- a) To find the fuel consumption BSFC for CMCR at standardized conditions proceed as follows:  
Draw into figure 9: 'Estimation of BSFC for CMCR' point Rx for example at 87 per cent power and 95.2 per cent speed. Draw a line parallel to the constant torque line (shown with little arrows) from the Rx point to the right of the layout field and read the 'Engine torque' as indicated – in the example the engine torque is 91.4.

To find the BSFC at Rx (which is the equivalent to CMCR), go to the engine torque in table 2 'Estimation of BSFC' and find the proper BSFC right below the engine torque. Points in between can be linearly interpolated as shown in the example.

- b) To estimate the BSFC – figures for Rx part load proceed as follows:  
Go to table 3 'Estimation of BSFC for Rx at part load'.  
The BSFC correction for Rx at part load must be interpolated linearly in the corresponding range for the chosen engine torque and for both 100 % R1 speed and 80 % R1 speed as shown in the example.

**Example:** Estimation of BSFC for above defined engine and standardized conditions:

Please note that any BSFC guarantee  
must be subject to confirmation  
by the engine manufacturer



7056-03/F103100

**Fig. 9 Estimation of BSFC for CMCR**

#### 1. Estimation of BSFC for CMCR at standardized conditions

**Figure 9:**

Engine torque for defined Rx = 91.4 %  
[calculated:  $= (0.87 / 0.952) \cdot 100 = 91.4 \%$ ]

**Table 2:**

|                              |               |
|------------------------------|---------------|
| BSFC at engine torque 91.4 % | = BSFC (Rx)   |
| BSFC at engine torque 92 %   | = 171.0 g/kWh |
| BSFC at engine torque 90 %   | = 170.4 g/kWh |

$$\text{BSFC (Rx)} = \text{BSFC}_{91.2} =$$

$$= \text{BSFC}_{90} + (\text{BSFC}_{92} - \text{BSFC}_{90}) \cdot \frac{91.4 - 90.0}{92.0 - 90.0}$$

$$= 170.4 + (171.0 - 170.4) \cdot 0.7 = 170.8 \text{ g/kWh}$$

## C. RTA48T Engine

| Brake specific fuel consumption (BSFC) [g/kWh] at CMCR (Rx) at standardized conditions |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Engine torque  | 100   | 98    | 96    | 94    | 92    | 90    | 87.5  | 85    | 82.5  | 80    | 75    | 70    | 65    | 60    |
| Rating point   | R1/R3 |       |       |       |       |       |       |       |       |       | R4    |       |       | R2    |
| BSFC [g/kWh]   | 174.0 | 173.2 | 172.4 | 171.7 | 171.0 | 170.4 | 169.7 | 169.1 | 168.5 | 167.9 | 166.9 | 165.9 | 165.0 | 164.0 |

Table 2 Estimation of BSFC for CMCR

7056-03/T100300

## 2. Estimation of BSFC for 85 % part load at standardized conditions

Table 3:

For 85 % part load of Rx at 100 % R1 speed and 91.4 % R1 torque (torque range between 90 % and 100 %) is BSFC torque correction:

$$\Delta \text{BSFC}_A =$$

$$= \Delta \text{BSFC}_{90} + [\Delta \text{BSFC}_{100} - \Delta \text{BSFC}_{90}] \cdot \frac{91.4 - 90.0}{100.0 - 90.0}$$

$$= -2.7 + [-4.0 - (-2.7)] \cdot 0.14 = -2.9 \text{ g/kWh}$$

| Brake specific fuel consumption (BSFC) at part load (Rx) |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| A: Engine speed 100 % R1                                 |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
| Engine torque  | Correction of BSFC [g/kWh] at part load in % of Rx at standardized conditions |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|  | 95  | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55  | 50   |
| 100  | -2.0  | -3.4 | -4.0 | -4.2 | -4.1 | -3.5 | -2.2 | 0.1  | 2.5 | 5.0  |
| 90   | -1.5  | -2.4 | -2.7 | -2.8 | -2.4 | -1.7 | -0.1 | 2.1  | 4.7 | 7.5  |
| 80   | -1.1  | -1.7 | -1.9 | -1.7 | -1.4 | -0.4 | 0.8  | 2.9  | 5.4 | 8.3  |
| 70   | -0.8  | -1.1 | -1.2 | -1.1 | -0.7 | 0.1  | 1.3  | 3.2  | 5.4 | 7.8  |
| 60   | -0.5  | -0.8 | -0.9 | -0.7 | -0.4 | 0.2  | 1.3  | 2.7  | 4.4 | 6.2  |
| Brake specific fuel consumption (BSFC) at part load (Rx) |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
| B: Engine speed 80 % R1                                  |   |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
| Engine torque  | Correction of BSFC [g/kWh] at part load in % of Rx at standardized conditions |      |      |      |      |      |      |      |     |      |
|  | 95  | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55  | 50   |
| 100  | -1.7  | -2.9 | -3.5 | -3.7 | -3.6 | -3.1 | -2.0 | -0.1 | 2.1 | 4.5  |
| 90   | -1.0  | -1.9 | -2.3 | -2.5 | -2.4 | -1.9 | -0.9 | 1.3  | 4.5 | 7.9  |
| 85   | -1.0  | -1.6 | -2.8 | -2.8 | -1.3 | -0.4 | 1.6  | 4.1  | 7.0 | 10.2 |
| 80   | -0.8  | -1.4 | -1.6 | -1.5 | -1.1 | -0.3 | 1.3  | 3.6  | 6.6 | 9.7  |
| 70   | -0.7  | -1.1 | -1.3 | -1.2 | -0.9 | -0.2 | 1.0  | 2.7  | 4.9 | 7.4  |

Table 3 Estimation of BSFC for CMCR at part load

7056-03/T100301-1

For 85 % part load of Rx at 80 % R1 speed and 91.4% R1 torque (torque range between 90 % and 100 %) is BSFC torque correction:

$$\Delta \text{BSFC}_B =$$

$$= \Delta \text{BSFC}_{90} + [\Delta \text{BSFC}_{100} - \Delta \text{BSFC}_{90}] \cdot \frac{91.4 - 90.0}{100.0 - 90.0}$$

$$= -2.3 + [-3.5 - (-2.3)] \cdot 0.14 = -2.4 \text{ g/kWh}$$

For rated engine speed of 95.2 % R1 (speed range between 100 % and 80 %) BSFC speed correction is:

$$\Delta \text{BSFC}_{95.2} =$$

$$= \Delta \text{BSFC}_B + (\Delta \text{BSFC}_A - \Delta \text{BSFC}_B) \cdot \frac{95.2 - 80.0}{100.0 - 80.0}$$

$$= -2.4 + [-2.9 - (-2.4)] \cdot 0.76 = -2.8 \text{ g/kWh}$$

and finally:

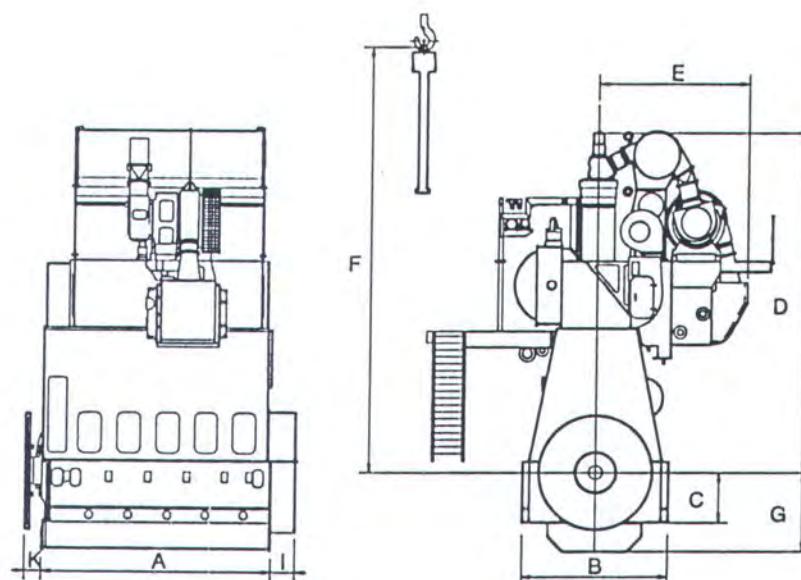
$$\text{BSFC (85 \% Rx)} = \text{BSFC (Rx)} + \Delta \text{BSFC}_{95.2}$$

$$= 170.8 - 2.8 = 168.0 \text{ g/kWh}$$

The tolerance for the calculated BSFC [g/kWh] for CMCR at standardized conditions is +3 per cent.

### C3 Installation data

#### C3.1 Dimensions, masses and dismantling heights



7056-03/F100814a

Fig. 15 Engine dimensions

| Number of cylinders                                      | 5   | 6  | 7  | 8  |  |
|--|---|--|--|--|--|
| Dimensions in mm with a tolerance of approx. $\pm 10$ mm | A<br>B<br>C<br>D<br>E<br>F<br>G<br>I<br>K | 4929<br>3170<br>1085<br>7334<br>3322<br>9030<br>1700<br>525<br>371 | 5763<br>3170<br>1085<br>7334<br>3330<br>9030<br>1700<br>525<br>371 | 6597<br>3170<br>1085<br>7334<br>3330<br>9030<br>1700<br>525<br>371 | 7431<br>3170<br>1085<br>7334<br>3330<br>9030<br>1700<br>525<br>371 |
| Cylinder distance [mm]                                   | 834                                       | 834  | 834  | 834  |  |
| Net engine mass without oil / water in tonnes            | 170                                       | 195  | 220  | 245  |  |
| Minimum crane capacity in tonnes                         | 2.0                                       | 2.0  | 2.0  | 2.0  |  |

Remark: F: Standard dismantling height – reduced height with tilted piston removal is possible.

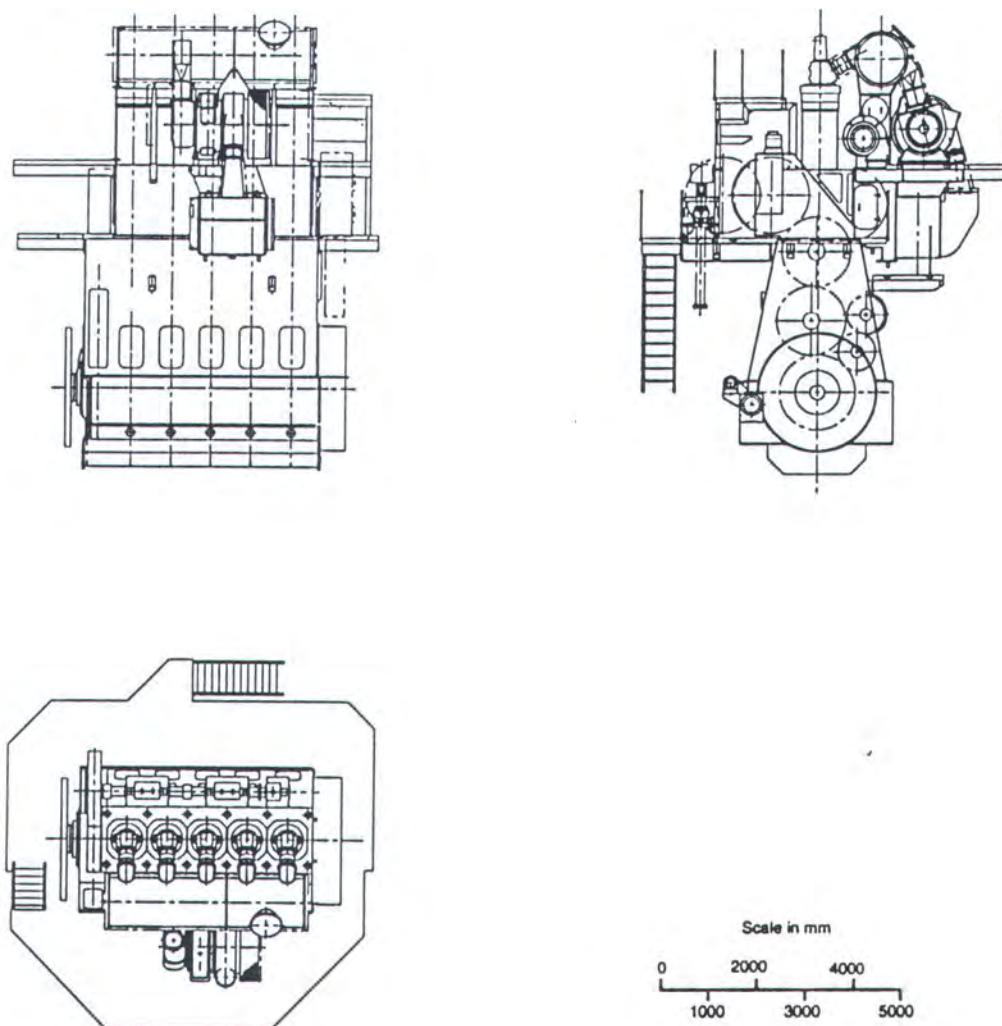
Mass: Calculated according to nominal dimensions of drawings, incl. turbochargers and CAC (specified for R1), pipings and platforms.

Table 15 Dimensions and masses

7056-03/T100169

**>3.2 Engine outlines**

The following engine outline illustrations are produced to a scale. Each represents R1 rated engine arrangements.

**>3.2.1 Engine outline 5RTA48T**

56-03/F100079

**Fig. 16 5RTA48T engine outline**

## D. RTA62U Engine

### D2 Engine data

#### D2.1 Estimation of engine performance data

We offer computerized information services to analyse the engine's heat balance and determine main system data for any rating point within the engine layout field. For details of this service please refer to chapter D5.1.2.1 on page 117.

Standard operating parameters for diesel engines are based on the following **ISO Standard 3046-1 condition**: Engine inlet air temperature of 25 °C, scavenge air cooling water inlet temperature of 25 °C, barometric pressure of 1 bar (750 mm Hg) and a fuel lower calorific value (LCV) of 42.7 MJ/kg.

However, the operating parameters for complete marine installations are based on **tropical conditions** specified by the classification societies: ambient air temperature 45 °C, scavenge air cooling water inlet temperature 32 °C for sea-water and 36 °C for fresh water and an atmospheric pressure of 1 bar (750 mm Hg).

We have taken all these factors into consideration when sizing coolers, heat exchangers and designing systems and unless the vessel is going to operate in extreme conditions, engine output is not affected. The following engine data takes into account the range of ambient conditions but is strictly based on the condition and specification of the fuel i.e., LCV of 42.7 MJ/kg.

The Sulzer RTA62U is designed for running with a wide range of fuels from marine diesel oil (MDO) to heavy fuel oils (HFO) of different qualities, the limits of which are given in table 23 'Fuel oil requirements' on page 67 and assumes that the onboard treatment plant is capable of processing it to reduce the content of harmful substances and optimize the viscosity.

If there is any doubt about the fuel quality available to the vessel and the effect this fuel may have on the engine, please contact our representative or New Sulzer Diesel Ltd directly.

The following data is used to study the fuel economy of the Sulzer RTA62U engine. The Efficiency-Booster System (EBS) is only available for the five- to eight-cylinder models at CMCR power above approx. 10 000 kW, please refer also to figure 57 'Turbocharger and scavenge air cooler selection with EBS' on page 97.

### D2.1.1 Estimating brake specific fuel consumption (BSFC)

#### Example:

7RTA62U with Efficiency-Booster System

CMCR specified

Rx: Power: 11 344 kW      Speed: 99 rpm  
73 %                        87.6 %

#### Estimation of BSFC

- a) in Fig. 52a 'Estimation of BSFC':

Draw into Fig. 52a point Rx at 73 per cent power and 87.6 per cent speed. Draw a line (shown with little arrows) in between the two nearest guide lines through the Rx point to the right of the layout field and read the 'BSFC position' as indicated – in our example the BSFC position is 82.0.

To find the BSFC at Rx (which is the CMCR) go to the BSFC position in table 28 'Estimation of BSFC' and find the proper BSFC right below the BSFC position. Points in between can be linearly interpolated as in our example:

$$\text{BSFC position} = 82.0$$

$$\text{BSFC at position } 80.0 = 166.8$$

$$\text{BSFC at position } 82.5 = 167.4$$

BSFC at position 82.0:

$$= \frac{167.4 - 166.8}{82.5 - 80.0} \cdot (82.0 - 80.0) + 166.8$$

$$= 167.3 \text{ g/kWh}$$

- b) to find fuel consumptions for CMCR and part load proceed as follows:

in Fig. 52b 'Estimation of BSFC for CMCR and part load':

Draw into Fig. 52b point Rx at 73 per cent power and 87.6 per cent speed. Draw a parallel line to the constant torque line through the Rx point to the right of the layout field and read the engine torque as indicated

– in our example the engine torque is 84 per cent.

Go to table 29 'Estimation of BSFC for CMCR specified engines' if the engine is optimized for CMCR (Rx).

Go to table 30 'Estimation of BSFC for EOP specified engines' if the engine is optimized for EOP.

The upper part of the tables apply for engines with Efficiency-Booster System, the lower part of the tables gives data for engines which are not equipped with an Efficiency-Booster System.

Our example is for an engine which is CMCR optimized and does have an Efficiency-Booster System. We use therefore the upper part of table 29.

The fuel consumption correction data for CMCR and part load can be interpolated linearly between 100 per cent and 68.8 per cent or between 68.8 per cent and 55 per cent of the engine torque.

#### The fuel consumption at 100 % load (CMCR):

$$167.3 - 3.7 - \frac{5.4 - 3.7}{100 - 68.8} \cdot (84.0 - 68.8)$$

$$= 167.3 - 3.7 - \underbrace{0.8}_{-4.5}$$

$$\text{BSFC (Rx)} = 162.8 \text{ g/kWh}$$

That means the Efficiency-Booster System brings a fuel saving of 4.5 g/kWh at 100 per cent CMCR.

#### At 85 % load BSFC is:

$$167.3 - 4.2 - \frac{7.4 - 4.2}{100 - 68.8} \cdot (84.0 - 68.8)$$

$$= 167.3 - 4.2 - 1.6$$

$$\text{BSFC (85 \% Rx)} = 161.5 \text{ g/kWh}$$

## D. RTA62U Engine

### Example

7RTA62U with EBS, CMCR specified

Rx: Power: 11 344 kW Speed: 99 rpm  
73 % 87.6 %

### 1. Estimation of BSFC for CMCR (ISO)

a) Fig. 52a, table 28:

$$\begin{aligned} \text{BSFC position } & 82.0 = X \\ \text{BSFC at position } & 80.0 = 166.8 \\ \text{BSFC at position } & 82.5 = 167.4 \end{aligned}$$

$$X = \frac{167.4 - 166.8}{82.5 - 80.0} \cdot (82.0 - 80.0) + 166.8$$

$$X = 167.3 \text{ g/kWh}$$

b) Figure 52b, table 29, 100 % part load

$$\begin{aligned} \text{Engine torque: } & 84.0 \% = Y \\ & 100.0 \% = -5.4 \\ & 68.8 \% = -3.7 \end{aligned}$$

$$Y = \frac{(-5.4) - (-3.7)}{100.0 - 68.8} \cdot (84.0 - 68.8) + (-3.7)$$

$$Y = -4.5 \text{ g/kWh}$$

$$\text{BSFC (Rx)} = X + Y$$

$$= 167.3 + (-4.5)$$

$$= 162.8 \text{ g/kWh (ISO condition)}$$

### 2. Estimation of BSFC for 85 % part load

a) Figure 52b, table 29, 85 % part load

$$\begin{aligned} \text{Engine torque: } & 84.0 \% = Z \\ & 100.0 \% = -7.4 \\ & 68.8 \% = -4.2 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{(-7.4) - (-4.2)}{100.0 - 68.8} \cdot (84.0 - 68.8) + (-4.2)$$

$$Z = -5.8 \text{ g/kWh}$$

$$\text{BSFC (85\% Rx)} = X + Z$$

$$= 167.3 + (-5.8)$$

$$= 161.5 \text{ g/kWh (ISO condition)}$$

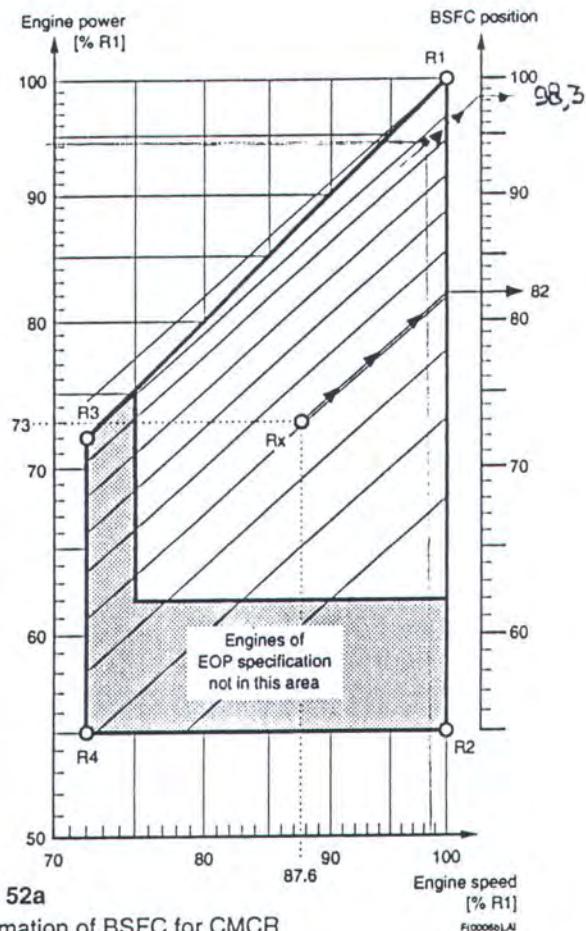
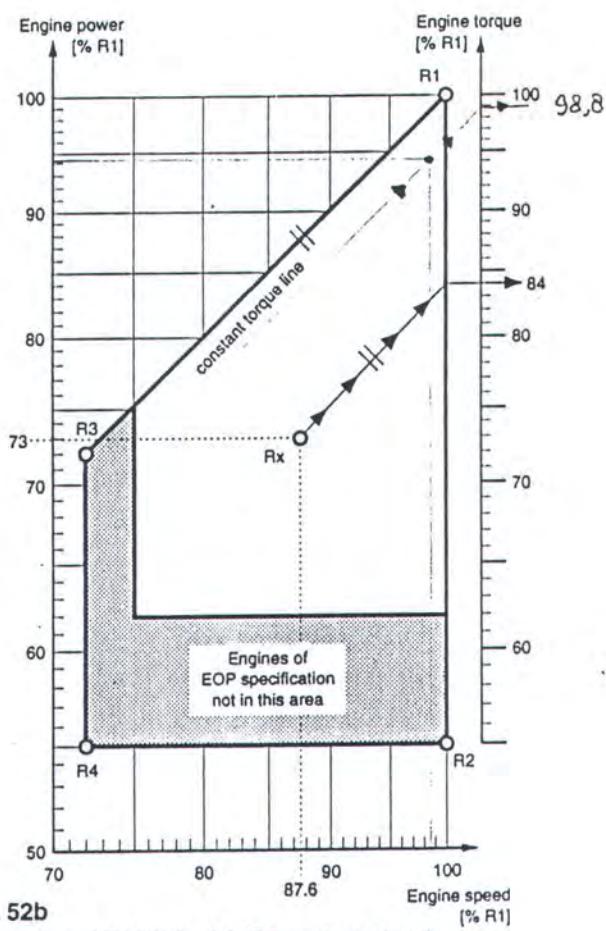


Fig. 52a  
Estimation of BSFC for CMCR



g. 52b  
Estimation of BSFC for CMCR and part load

| Brake specific fuel consumption (BSFC) |                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | BSFC position (according to Fig. 52a) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | 100                                   | 98    | 96    | 94    | 92    | 90    | 87.5  | 85    | 82.5  | 80    | 75    | 70    | 65    | 60    | 55    |
| BSFC [g/kWh]                           | 173.0                                 | 172.3 | 171.7 | 171.0 | 170.3 | 169.7 | 168.9 | 168.1 | 167.4 | 166.8 | 165.6 | 164.5 | 163.6 | 162.8 | 162.0 |

**Table 28**  
Estimation of BSFC

T(0168)A1

| Brake specific fuel consumption for engines with CMCR specification |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|
| Engines with Efficiency-Booster System (EBS)                        |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
| Engine torque [% R1]  | Correction of brake specific fuel consumption under ISO condition at partial power in % of Rx [g/kWh] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|   | 100   | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   |  |  |  |
| 100   | -5.4  | -6.7 | -7.3 | -7.4 | -7.1 | -6.6 | -5.9 | -4.9 | -3.7 | -2.4 | -0.9 |  |  |  |
| 68.8  | -3.7  | -4.2 | -4.3 | -4.2 | -3.9 | -3.3 | -2.4 | -1.3 | -0.1 | 1.4  | 3.1  |  |  |  |
| 55  | -2.6  | -2.6 | -2.5 | -2.2 | -1.8 | -1.1 | -0.1 | 1.3  | 3.3  | 5.5  | 8.0  |  |  |  |
| Engines without Efficiency-Booster System (no EBS)                  |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
| Engine torque [% R1]  | Correction of brake specific fuel consumption under ISO condition at partial power in % of Rx [g/kWh] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|   | 100   | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   |  |  |  |
| 100   | 0.0   | -1.5 | -2.5 | -2.9 | -2.9 | -2.7 | -2.2 | -1.5 | -0.7 | 0.2  | 1.2  |  |  |  |
| 68.8  | 0.0   | -0.7 | -1.1 | -1.3 | -1.3 | -1.1 | -0.6 | 0.1  | 1.0  | 2.1  | 3.3  |  |  |  |
| 55  | 0.0   | -0.4 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | 0.0  | 0.7  | 1.7  | 3.2  | 4.9  | 6.7  |  |  |  |

**Table 29**  
Estimation of BSFC for CMCR specified engines

T(0152)A1

| Brake specific fuel consumption for engines with EOP specification |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|--|
| Engines with Efficiency-Booster System (EBS)                       |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
| Engine torque [% R1]   | Correction of brake specific fuel consumption under ISO condition at partial power in % of Rx [g/kWh] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|  | 100   | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   |  |  |  |
| 100  | -4.8  | -6.4 | -7.7 | -8.8 | -9.3 | -9.2 | -8.6 | -7.6 | -6.6 | -5.3 | -3.9 |  |  |  |
| 68.8   | -3.2  | -3.8 | -4.3 | -4.6 | -4.7 | -4.5 | -4.0 | -3.2 | -2.2 | -0.8 | 1.0  |  |  |  |
| 62   | -2.9  | -3.4 | -3.6 | -3.7 | -3.7 | -3.2 | -2.5 | -1.5 | -0.4 | 1.6  | 3.7  |  |  |  |
| Engines without Efficiency-Booster System (no EBS)                 |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
| Engine torque [% R1]   | Correction of brake specific fuel consumption under ISO condition at partial power in % of Rx [g/kWh] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |  |  |
|  | 100   | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   |  |  |  |
| 100  | 1.0   | -1.1 | -2.7 | -4.0 | -4.8 | -5.0 | -4.9 | -4.4 | -3.6 | -2.7 | -1.7 |  |  |  |
| 68.8   | 0.8   | -0.2 | -1.0 | -1.6 | -1.9 | -2.0 | -1.9 | -1.6 | -1.0 | 0.0  | 1.2  |  |  |  |
| 62   | 0.7   | -0.2 | -0.8 | -1.2 | -1.4 | -1.2 | -0.9 | -0.4 | 0.4  | 1.6  | 3.1  |  |  |  |

**Table 30**  
Estimation of BSFC for EOP specified engines

T(0153)A1

### D3.2.3 Engine outline 6RTA62U

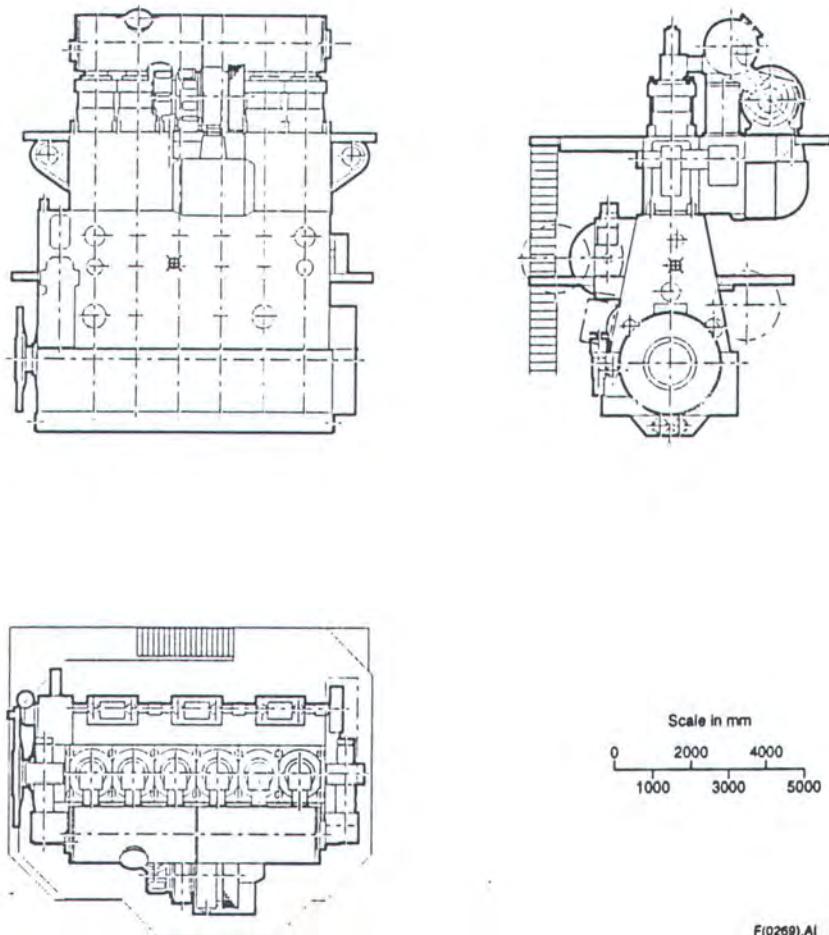


Fig. 62  
6RTA62U engine outline