

TUGAS AKHIR – LS 1336

**ANALISA TEKNO EKONOMI PERBANDINGAN SISTEM
DIESEL MECHANICAL PROPULSION (DMP) DAN
DIESEL ELECTRIC PROPULSION UNTUK KAPAL
MILITER TIPE LPD (KRI MAKASSAR)**

**HENDRIK KURNIAWAN
NRP 4205 100 056**

**Dosen Pembimbing :
Taufik Fajar Nugroho, ST, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2009**



FINAL PROJECT – LS 1336

TECHNIC AND ECONOMICAL ANALYSIS COMPARISON OF DIESEL MECHANICAL PROPULSION SYSTEMS (DMP) AND DIESEL ELECTRIC PROPULSION TO MILITARY SHIP TYPE LPD (KRI MAKASSAR)

**HENDRIK KURNIAWAN
NRP 4205 100 056**

**Supervisor Lecturer :
Taufik Fajar Nugroho, ST, M.Sc**

**DEPARTEMEN OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2009**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNO EKONOMI PERBANDINGAN SISTEM DIESEL MECHANICAL PROPULSION (DMP) DAN DIESEL ELECTRIC PROPULSION UNTUK KAPAL MILITER TIPE LPD (KRI MAKASSAR)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
HENDRIK KURNIAWAN
4205 100 056

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Taufik Fajar Nugroho, ST , M.Sc.....()

Surabaya
Juli, 2009

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA TEKNO EKONOMI PERBANDINGAN SISTEM DIESEL MECHANICAL PROPULSION (DMP) DAN DIESEL ELECTRIC PROPULSION UNTUK KAPAL MILITER TIPE LPD (KRI MAKASSAR)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
HENDRIK KURNIAWAN
4205 100 056

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS :

Ir.Alam Baheramsyah, M.Sc ()

Surabaya
Juli, 2009

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

**ANALISA TEKNO EKONOMI PERBANDINGAN
SISTEM DIESEL MECHANICAL PROPULSION
(DMP) DAN DIESEL ELECTRIC PROPULSION
UNTUK KAPAL MILITER TIPE LPD
(KRI MAKASSAR)**

Nama Mahasiswa : Hendrik Kurniawan
NRP : 4205 100 056
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Taufik Fajar Nugroho, ST , M.Sc

Perkembangan transportasi laut sangat pesat sehingga mendorong orang untuk menciptakan suatu sistem propulsi yang lebih canggih, hemat bahan bakar dan ramah lingkungan yaitu diesel electric propulsion (DEP). Tujuan perancangan sistem DEP ini adalah untuk dapat menentukan sistem propulsi yang paling optimal baik dari segi teknis maupun ekonomisnya , mengingat peletakan kamar mesin pada sistem sebelumnya (DMP) di bagian tengah kapal.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan resistance, pemilihan prime mover, genset, elctrical system, pemilihan propulsor (Compact Azipod) dan total Capital Cost baik untuk sistem DEP maupun sistem DMP.

Dari hasil analisa diketahui bahwa penggunaan sistem DEP pada kapal LPD akan dapat menghemat bahan bakar (Fuel oil) sebesar 42,85% selama 20 tahun ke depan yang secara otomatis

dapat menambah saving cost dan bersifat lebih ramah lingkungan .Dari segi weight and space penerapan sistem DEP pada kapal LPD lebih menguntungkan mengingat adanya eliminasi beberapa komponen dari sistem DMP . Perencanaan propulsion system ini diharapkan agar dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk pembangunan kapal jenis LPD selanjutnya, dan secara umum DEP dapat digunakan sebagai competitor dari DMP dalam pembangunan kapal berikutnya

Kata kunci : Landing platform docking, Diesel Electric Propulsion, Diesel Mechanical Propulsion.

**TECHNIC AND ECONOMICAL ANALYSIS
COMPARISON OF DIESEL MECHANICAL
PROPULSION SYSTEMS (DMP) AND DIESEL
ELECTRIC PROPULSION TO MILITARY SHIP
TYPE LPD
(KRI MAKASSAR)**

Student Name : Hendrik Kurniawan
NRP : 4205 100 056
Department : Marine Engineering
Supervisor Name : Taufik Fajar Nugroho, ST , M.Sc

Abstract

The development of sea transport is very rapid, so encourage people to create a propulsion system which more powerful, thrifty fuel and environmentally friendly that is Diesel Electric Propulsion (DEP). DEP are designed to determine the most optimal in terms of both technical and economical, considering the engine room layout on the previous system (DMP) in the middle of the ship (AmidshipMachinery).

In this final task will determine calculation of resistance, selection prime Mover, genset, electrical system, selection of propulsor (Compact Azipod) and total Capital cost for both system (DMP and DEP system).

From the analysis can be determine that use of the DEP system on the ship LPD can save fuel (Fuel oil) of 42.85% for 20 years which can automatically increase the cost saving and more environmentally friendly. In terms of weight and implementation of space systems on ships, DEP more

profitable considering elimination of several components of the DMP system. Propulsion planning system is expected to be made as consideration for next development of LPD and and generally, DEP can be used as competitors of the DMP in the development of the next ship.

Keywords: Landing platform docking, Diesel Electric Propulsion, Diesel Mechanical Propulsion.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Rasa syukur Saya haturkan kepada Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat iman, islam, ihsan dan nikmat kesehatan jasmani-rohani, sehingga Saya dengan berbagai nikmat tersebut dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Dalam Tugas Akhir ini Saya mengambil judul
“ ANALISA TEKNO EKONOMI PERBANDINGAN SISTEM DIESEL MECHANICAL PROPULSION (DMP) DAN DIESEL ELECTRIC PROPULSION UNTUK KAPAL MILITER TIPE LPD (KRI MAKASSAR) ”.

Dengan menganalisa sisi teknis dan ekonomis yang berhubungan dengan pemilihan antara *Diesel Mechanical Propulsion* dan *Diesel Electric propulsion untuk Landing Platform Docking* .

Saya sangat berharap pada hasil penyusunan Tugas Akhir ini adanya koreksi dan saran karena saya merasa Tugas Akhir ini banyak kekurangan sehingga pada tugas-tugas selanjutnya dapat diperbaharui.

Do'a saya semoga bimbingan yang telah diberikan oleh Bapak-Bapak Dosen memberikan manfaat ilmunya untuk kemaslahatan masyarakat. amin

Penulis,

Surabaya, Juni 2009

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh keikhlasan, kesungguhan dan kerendahan hati, maka penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Alam Baheramsyah MSc, selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, yang telah memberikan bimbingan dengan ikhlas kepada Saya
2. Bapak Taufik Fajar Nugroho ST, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membantu dalam memberikan petunjuk didalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Hari Prastowo , MSc, selaku dosen wali yang telah memberikan waktu dan memberi kesempatan dalam mengambil tugas akhir pada semester ini.
4. Bapak dan Ibu aku tercinta, yaitu Bapak Sumardi dan Ibu Paini Yuliatin terima kasih atas kasih sayangnya, yang selalu memberikan dukungan material dan spritual, dengan do'a-do'anya, keikhlasannya selama ini yang selalu menjadi semangat penulis dalam menyelesaikan kuliah dan Tugas Akhir ini
5. Mayor Andi sebagai Kepala Kamar Mesin selaku pembimbing TA di KRI Makassar 590 KOARMATIM Dermaga Ujung Surabaya.
6. Teman-teman Magneeforce 2005, 2004,dan 2003 marine engineering FTK ITS.
7. Teman-teman Laboratorium Desain, RBC dan Safety.
8. Sahabatku di ITS Zulfadli Tanjung, Galih Probo Kusuma, Naza Himawan, Ivan Akhmad, Ahmed, Nanang Catur Darmawan dan semua pihak yang tidak saya sebutkan satu persatu terima kasih atas dukungan moril maupun spirituilnya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang banyak membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juni 2009

Penulis

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

<u>BAB.....</u>	<u>1</u>
<u>PENDAHULUAN</u>	
<u>1.1. Latar Belakang.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2. Perumusan Masalah.....</u>	<u>2</u>
<u>1.3. Batasan Masalah.....</u>	<u>2.</u>
<u>1.4. Tujuan.....</u>	<u>3.</u>
<u>1.5. Manfaat.....</u>	<u>3</u>
<u>1.6. Sistematika Penulisan.....</u>	<u>4</u>
<u>BAB II.....</u>	<u>6</u>
<u>TINJAUAN PUSTAKA</u>	
<u>2.1 Pengertian LPD.....</u>	<u>6</u>
<u>2.2 Diesel Electric Propulsion.....</u>	<u>7</u>
<u>2.2.3 Power Flow & Power Efficiency.....</u>	
<u>2.2.4 Overview of Electric Power System.....</u>	<u>11</u>
<u>2.2.5 Electric Power Generation.....</u>	<u>12</u>
<u>2.2.6 Electric Power Distribution.....</u>	<u>16</u>
<u>2.2.7 Electric Power Distribution.....</u>	<u>21</u>
<u>2.3 Analisa Ekonomis.....</u>	<u>23</u>
<u>2.3.1 Biaya Modal</u>	<u>23</u>
<u>BAB III.....</u>	<u>28</u>
<u>METODOLOGI PENELITIAN</u>	
<u>3.1 Studi Literatur.....</u>	<u>30</u>
<u>3.2 Pengumpulan data dari lapangan.....</u>	<u>30</u>
<u>3.3 Perhitungan Thrust dan daya listrik.....</u>	<u>30</u>
<u>3.4 Perencanaan Sistem DEP.....</u>	<u>30</u>

3.5	<u>Kesimpulan dan Saran.....</u>	30
BAB IV.....	32
<u>PENERAPAN DEPP DAN KAJIAN TEKNO EKONOMI</u>		
4.1	<u>Perhitungan Teknis Sistem.....</u>	32
4.2	<u>Pola Pembebanan Kelistrikan KRI Makassar</u>	40
4.3	<u>Perhitungan & Instalasi Elemen Sistem DEP.....</u>	41
4.4	<u>Perhitungan Tahanan Kapal.....</u>	46
4.5	<u>Compact Azipod.....</u>	57
4.6	<u>Frequensi Converter.....</u>	61
4.7	<u>Perhitungan Instalasi Listrik.....</u>	62
	4.7.1 <u>Pemilihan Generator Set.....</u>	63
	4.7.2 <u>Distribution Board & Transformer.....</u>	66
	4.7.2.1 <u>Transformer.....</u>	66
	4.7.2.2 <u>Distribusi Daya.....</u>	67
	4.7.2.3 <u>Perhitungan Busbar tiap junction.....</u>	72
	4.7.2.4 <u>Penarikan Kabel Pada Shore Conn.....</u>	73
4.8	<u>Perhitungan Ekonomis System.....</u>	75
	4.8.1 <u>Diesel Mechanical Propulsion.....</u>	75
	4.8.2 <u>Diesel Electric Propulsion.....</u>	78
4.9	<u>Pembahasan dari segi Tekno Ekonomi.....</u>	81
	4.9.1 <u>Power Flow & Power Efficiency.....</u>	82
	4.9.2 <u>DMP & DEP Component Cost.....</u>	85
	4.9.3 <u>Weight and Space.....</u>	86
	4.9.4 <u>Noise and Vibration.....</u>	87
	4.9.5 <u>Reliability and safety.....</u>	88
	4.9.6 <u>Absence of Smoke , Pollution and Emission.....</u>	89
	4.9.7 <u>Konsumsi Bahan Bakar.....</u>	90

<u>BAB V</u>	95
KESIMPULAN	95
SARAN.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98
LAMPIRAN.....	100

DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

Gambar 2.1 : KRI Makassar 590

Gambar 2.2 : Power Flow & Power Efficiency

Gambar 2.3 : Diesel Engine SFOC

Gambar 2.4 : Fuel consumption, compared for electric propulsion (Azipod) and conventional mechanical propulsion.

Gambar 2.5 : Single line diagram for a ship with podded electric propulsion

Gambar 2.6 : Example fuel consumption for a medium speed diesel engine

Gambar 2.7 : Magnetization of the rotor winding, left: brushed; right: brush-less magnetization

Gambar 2.8 : Frequency Converter Diagram

Gambar 2.9 : Discrete Cash Flow

Gambar 3.1 : Metodologi

Gambar 4.1 : Power plant system with azimuth thruster propulsion

Gambar 4.2 : KT – J

Gambar 4.3 : Burril Diagram

Gambar 4.4 : Open Water Diagram (P/D 0,7 s/d 0,9)

Gambar 4.5 : Compact Azipod

Gambar 4.6 : Compact Azipod performances

Gambar 4.7 : Compact Azipod dimension

Gambar 4.8 : Instalasi DMP dan DEP

Gambar 4.9 : Power Flow in a simplified electric power system

Gambar 4.10 : Instalasi DMP

Gambar 4.11 : kadar Nox yang dihasilkan dari DMP dan DEP

DAFTAR TABEL-TABEL

- Tabel 4.1 : Rincian Kebutuhan Suplai listrik KRI Makassar 590
Tabel 4.2 : Total Kebutuhan Suplai listrik KRI Makassar 590
Tabel 4.3 : Koefisien C. Stern
Tabel 4.4 : Koefisien Appendages
- Tabel 4.5 : Koefisien Wake Friction
Tabel 4.6 : KT, KQ , J table
Tabel 4.7 : Open Water dan diagram KT- J
Tabel 4.8 : hasil perhitungan P/D, J dan putaran (rpm)
Tabel 4.9 : Spesifikasi Dimensi Azipod (unit size 1 – 6)
Tabel 4.10 : Spesifikasi Dimensi Azipod (unit size 4)
Tabel 4.11 : total kebutuhan listrik setelah adanya penambahan azipod
Tabel 4.12 : Pemilihan generator
- Tabel 4.13 : Daftar harga komponen DMP
- Tabel 4.14 : Kebutuhan Fuel Oil dalam satu tahun (DMP)
Tabel 4.15 : Daftar harga komponen DEP
Tabel 4.16 : Kebutuhan Fuel Oil dalam satu tahun (DEP)
Tabel 4.17 : Losses Value
- Tabel 4.18 : Presentase load setiap kondisi operasional
Tabel 4.19 : perbandingan berat sistem DMP dan DEP
- Tabel 4.20 : Present value tiap tahun dan biaya operasi selama 20 tahun ke depan
Tabel 4.21 : Capital Cost and total Present value

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian LPD

Sebuah Landing Platform Dock atau LPD (juga dikenal sebagai *Amphibious Transport Dock*) adalah sebuah kapal perang amfibi yang meluncurkan, membawa dan mendaratkan elemen kekuatan darat untuk misi-misi perang gerak cepat. Kapal-kapal ini umumnya dirancang untuk membawa pasukan ke zona pertempuran lewat laut dan memiliki kemampuan membawa kekuatan udara terbatas (biasanya helikopter).

TNI-AL (Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut) telah memiliki tiga kapal LPD dalam armadanya, yakni KRI Tanjung Dalpele (972), KRI Makassar (590) dan KRI Surabaya (591) dan direncanakan menerima dua buah LPD kelas makassar lagi pada tahun 2009.



Gambar 2.1 KRI Makassar 590

KRI Makassar (590) adalah sebuah kapal LPD buatan Daesun Shipbuildings & Engineering CO. Ltd, Korea Selatan. Kapal ini merupakan kapal pertama dari dua kapal yang dibangun

di Korsel dan dirancang sebagai kapal perang rumah sakit. Selain sebagai kapal tempur, kapal yang berteknologi desain semi stealth ini juga berfungsi untuk operasi kemanusiaan serta penanggulangan bencana alam. Kapal ini mempunyai panjang 122 meter itu dapat mengangkut sekitar 500 personel, 13 ranpur, dan lima helikopter. Kapal berbobot 7.800 ton itu, juga dilengkapi dengan dua landasan pendaratan helikopter (helipad).

Kapal ini dirancang khusus untuk mampu dipasang meriam 100 mm, dilengkapi ruang CIC untuk sistem kendali senjata (fire control system), serta sebagai alat komunikasi dengan kapal-kapal jenis kombatan lain untuk melindungi pendaratan pasukan dan kendaraan tempur serta pengendalian pendaratan helikopter.

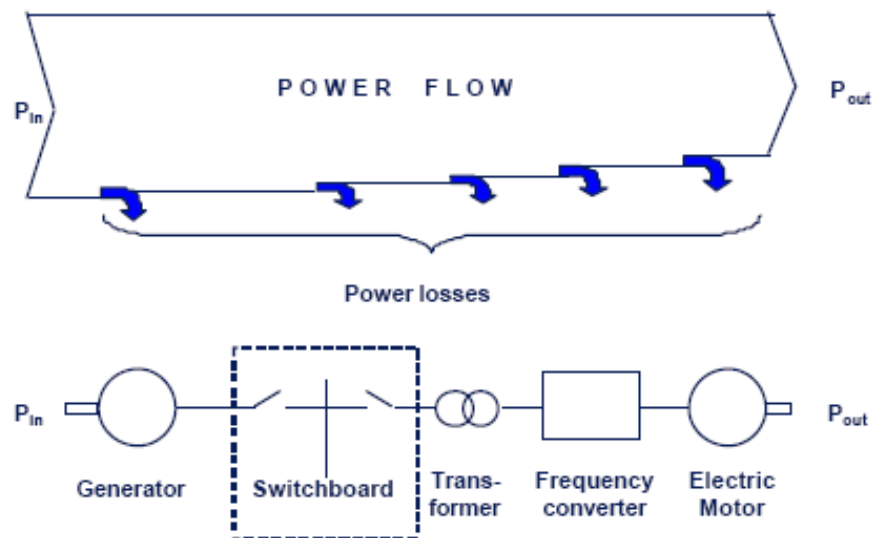
2.2 Diesel Electric Propulsion (DEP)

Sebelumnya kapal secara umum digerakan oleh suatu mesin diesel ataupun turbin yang dihubungkan ke propeller oleh poros melalui reduction-gear yang disebut mechanical Propulsion. Seiring dengan perkembangan yang pesat dari teknologi dan komputerisasi maka memungkinkan untuk menginstall sistem electric sebagai penggerak kapal yang dinamakan electric propulsion. Oleh karena kehandalan dan efisiensi yang tinggi, menjadikan mesin diesel banyak digunakan sebagai penggerak utama pada sistem Electric propulsion (Santoso,1994). Sistem ini selanjutnya diistilahkan dengan Diesel Electric Propulsion (DEP). Mesin diesel sebagai prime mover generator set tidak hanya menuplai daya listrik untuk propulsi tetapi juga sebagai sumber daya listrik untuk semua kebutuhan electric power plant baik untuk kebutuhan penggerak utama, akomodasi, maupun permesinan bantu di kapal, sehingga DEP Sering diistilahkan juga dengan Diesel Electric Power Plant (DEPP). Sistem transmisi elektrik umumnya memiliki alur/skema

yang sama, perbedaannya hanya pada konfigurasi, komponen yang digunakan, jenis prime mover (motor listrik).

2.2.3 Power Flow & Power Efficiency

Pada kapal dengan power flow dan power efficiency akan dipengaruhi oleh beberapa sistem distribusi termasuk distribusi dari transformer dan variable speed drive, yang menurut adnanes 2003 dapat diilustrasikan pada diagram berikut :

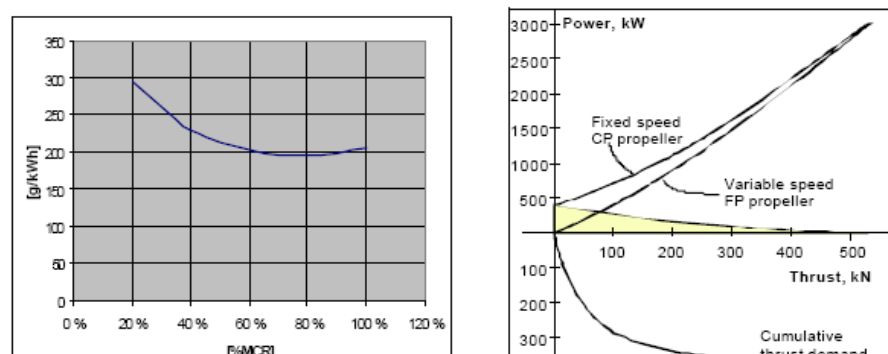


Gambar 2.2 Power Flow in a simplified electric power system
(sumber Adnanes : 2003. hal 07.)

Mesin diesel sebagai penggerak utama mengkopel generator. Motor listrik yang menjadi propulsi motor mengambil daya dari genset sesuai dengan beban yang diterima propeller. Losses daya pada komponen dari poros mesin diesel ke poros motor listrik adalah losses mekanik dan

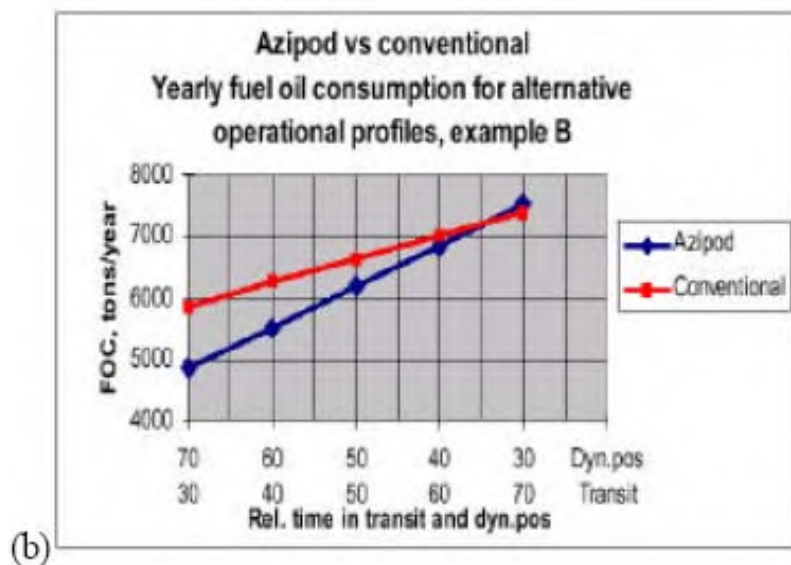
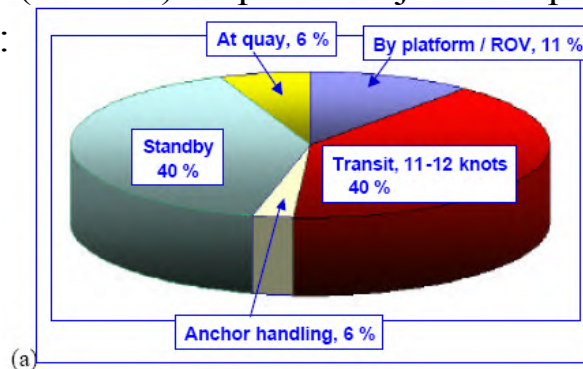
losses listrik yang menyebabkan naiknya panas dan temperatur pada komponen dan lingkungan sekitar.

Menurut Adnanes (2003) selama komponen – komponen yang terdapat diantara penggerak utama dan poros propeller dalam sistem DEP memberikan losses sekitar 10%, maka tidak akan memberikan pengaruh yang besar pada konsumsi bahan bakar. Yang harus diperhatikan adalah berkenaan dengan konsumsi bahan bakar yaitu pada karakteristik mesin diesel pada sistem DMP. Hal tersebut akan menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan, khususnya pada saat operasional dengan low thrust pada saat DP dan mnouvering. Karakteristik efisiensi bahan bakar , dengan aksimum efisiensi bahan bakar pada range beban 60% s/d 100% adalah sangat berbedaaantara sistem DEP dengan DMP Hal ini dipengaruhi oleh karena sistem DEP menginstall beberapa genset dengan daya yang lebih kecil, dimana dalam keadaan beban bervariasi setiap mesin akan tetap bekerja pada kondisi optimumnya. Perbandingan konsumsi bahan bakar tersebut, menurut Adnanes (2003) dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 2.3 (a) Diesesl Engine spesific fuel consumption
(b) Propeller Bollard Pull Characteristics
(sumber Adnanes : 2003, hal 08.)

Pada kapal dengan jenis LPD (War Ships) seperti pada kapal KRI – Makassar-590 ,dengan kondisi operasional seperti di bawah ini , ditunjukkan bahwa pemakaian sistem DEP dapat menghemat bahan bakar sampai dengan 700 ton perdisesl per tahun. Dengan harga bahan bakar 40 cent per per liternya , maka sistrem ini akan menghemat 280.000 USD per tahun. Menurut Adnanes (2003) dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut ini :

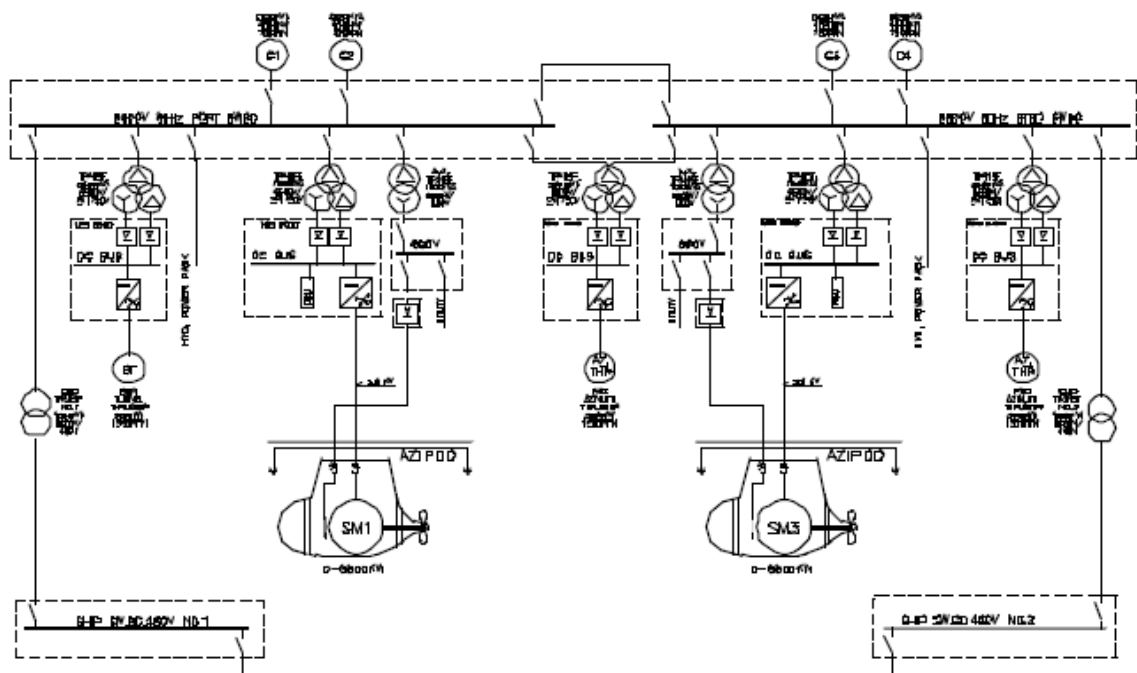


Gambar 2.4 (a) Operational profile for a field support vessel.
 (b) Fuel consumption, compared for electric propulsion (Azipod) and conventional mechanical propulsion.
 (sumber Adnanes : 2003, hal 08.)

2.2.4 Overview of Electric Power System

Dengan perkembangan yang pesat atas teknologi komputer, mikroprosesor dan jaringan komunikasi, integrasi dari sistem yang terpisah sistem yang independent sekarang sudah menjadi standart industri. Meningkatnya kebutuhan akan redundant propulsion dan DP kapal, menyebabkan perkembangan sistem redundancy kapal yang secara fisik terpisah. Interconnection dari sistem yang berbeda pada kapal meningkat secara kompleks, menjadikan desain, engineering, dan pembangunan kapal lebih terintegrasi. Menurut Adnanes (2003) Instalasi dari DE kapal dapat ditunjukkan dalam Gambar Single Line Diagram (SLD) berikut di bawah ini :

- Electric Power Generation
- Electric Power Distribution
- Variable Speed Drives
- Propulsion / Thruster unit



*Gambar 2.5 Single line diagram for a ship with podded electric propulsion; G1-G4: Generators, SWBD: Switchboard, TRANSF: Transformer, BT: Bow Thruster, AZ THR: Azimuthing thruster, AZIPOD®: Podded propulsion.
(sumber Adnanes : 2003, hal 15.)*

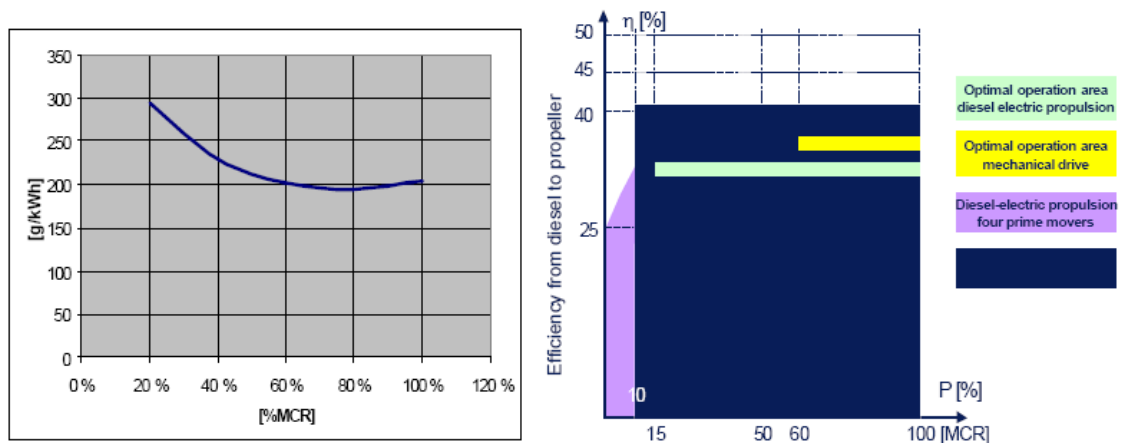
PRIME MOVER dari sistem DEP adalah mesin diesel dari tipe medium s/d high speed, dengan berat dan harga yang lebih murah dari pada DMP. Availability dan power plant menjadi perhatian yang tinggi, dan di sistem DEP dengan menginstall beberapa mesin diesel dalam redundant network; ini bukan hanya juga berarti bahwa sistem mempunyai reliability yang tinggi namun merupakan diagnosa yang kuat dan waktu reparasi yang pendek.

Mesin Diesel terus dikembangkan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan mengurangi emisi, dan pada saat ini, medium speed diesel engine dapat mencapai konsumsi bahan bakar lebih rendah dari 200g/ kWh pada titik operasi optimum mesin. Tetapi hanya 40% dari bahan bakar yang dapat terpakai sempurna oleh engine dan selebihnya terbang menjadi exhaust atau heat dissipation.

Pada sistem ini sebagai prime mover digunakan motor listrik. Ada beberapa jenis motor listrik yang dapat digunakan, pada sistem ini karena menggunakan converter (cycloconverter) maka hanya digunakan motor asinkron atau motor sinkron dengan eksitasi. Motor listrik ini umumnya menggunakan teknologi HTS (high temperatur superkonduktor) yaitu digunakannya bahan-bahan konduktor yang tahan terhadap temperatur tinggi (daya tinggi) untuk kumparan medan (stator maupun rotor), sehingga bahaya kebakaran atau hubungsingkat dapat dihindari.

Konfigurasi letak motor dapat berada di dalam kapal (memakai poros) dengan propeller FPP atau CPP, atau berada diluar kapal (out board) dengan konstruksi pod propeller.

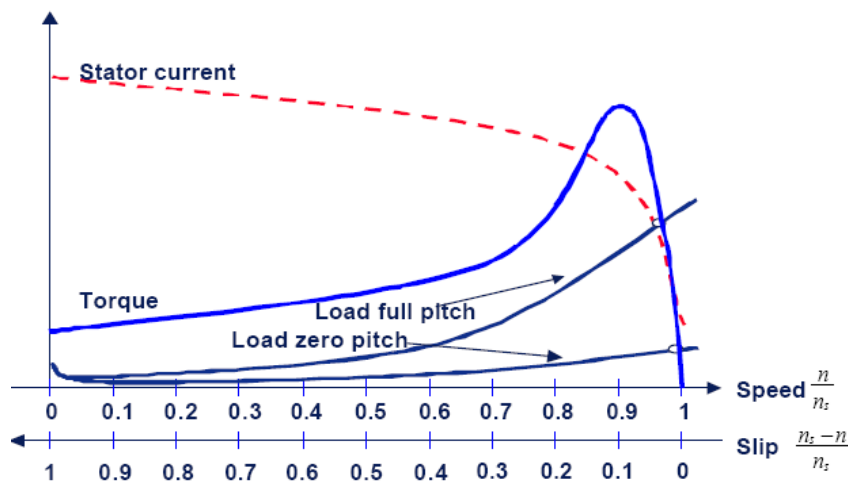
Efisiensi dari bahan bakar akan drop dengan cepat pada saat beban lebih rendah dari 50% MCR. Pada kondisi kerja seperti ini, pembakaran menjadi tidak efisien, sehingga akan memproduksi kandungan Nox dan Sox yang tinggi, serta menimbulkan shooting yang tinggi yang hal tersebut akan memerlukan maintenance yang lebih tinggi. Pada DEP dengan beberapa buah mesin diesel, maka hal tersebut dapat dihindari dengan tetap mempertahankan setiap engine beroperasi pada kondisi optimumnya walaupun pada saat beban kurang dari 50%, dengan men-start dan men-stop generator yang dipakai sesuai dengan kondisi beban.



Gambar 2.6 kiri : Example fuel consumption for a medium speed diesel engine.

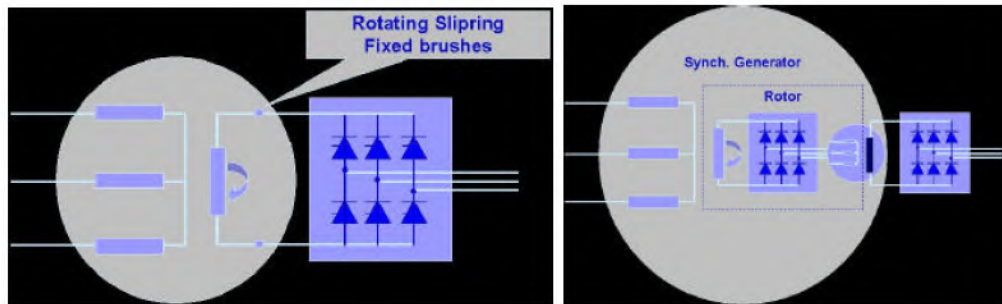
kanan : Total efficiency from engine to propeller shaft, in a single machine direct mechanical propulsion system and a four machine diesel electric propulsion system.

(sumber Adnanes : 2003, hal 16.)



1. Generator sinkron

Sebagai power supply utama digunakan beberapa buah generator sinkron (AC). Tegangan yang dihasilkan dapat berupa tegangan 1 fasa atau 3 fasa dengan medan magnet pada rotor yang beraliran arus DC dan 3 phase stator winding dimana medan magnet dari arus rotor menginduksi tegangan sinusoidal dari stator pada saat rotor diputar oleh prime mover. Frekuensi dari tegangan induksi adalah sebanding dengan rotational speed (n , RPM) jumlah kutub p pada mesin sinkron. Sehingga untuk mesin dengan medium speed yang besar pada umumnya bekerja pada network 720 RPM untuk 60 Hz (10 Kutub) atau network 750 RPM untuk 50 Hz (8 kutub). Pada penerapan akhir – akhir ini, arus DC dapat ditransfer ke kumparan magnet pada rotor oleh iskat atau slip ring. Pada generator yang modern dilengkapi dengan brushless excitation untuk mengurangi maintenance dan downtime. Mesin brushless excitation adalah inverse dari mesin sinkron DC magnetization pada stator dan rotating 3 phase winding dan rotating diodirectifier.



Gambar 2.7 Magnetization of the rotor winding, left: brushed; right: brush-less magnetization.

(sumber Adnanes : 2003, hal 17.)
 magnetization winding.

Proses excitation tersebut dikontrol oleh Automatic Voltage Regulator (AVR), dengan membandingkan dan menyesuaikan tegangan terminal dan nilai yang diinginkan. Pada dasarnya, pengontrol tersebut mempunyai karakteristik dengan stationary limited integration effect yang menyebabkan tegangan drop sesuai beban pada generatornya. Drop-nya tegangan menandakan adanya distribusi yang sama dari daya reaktif pada generator yang dihubungkan secara paralel. Menurut (Sadnanes (2003), berdasarkan peraturan yang banyak dipakai , stationary voltage variation pada terminal generator tidak boleh melebihi 2.5 % tegangan nominal. Variasi beban transient yang terbesar juga tidak boleh keluar dari range tegangan antara -15 5% s/d +20% tegangan nominal, kecuali ada hal khusus lain yang telah ditentukan dalam desain sistem. Untuk memenuhi persyaratan transient ini, AVR juga dilengkapi dengan fungsi control feed- forward yang didasarkan pada perhitungan arus stator.

2.2.6 Electric Power Distribution

1. Switchboard

Main Switchboard biasanya dibagi menjadi 2,3 atau 4 seksi, untuk memenuhi keperluan redundancy kapal. Berdasarkan peraturan dan ketentuan tentang electric propulsion, antar seksi harus mampu bekerja apabila salah satu seksi mengalami gangguan, misalnya pada saat terjadi shortcut circuit. Untuk kebutuhan strictest redundancy, antar seksi tersebut harus mampu mengcover seksi lainnya yang rusak apabila terjadi kebakaran ataupun flooding, sehingga harus dilengkapi dengan lapisan yang kedap air dan tahan api yang mengisolasi seksi tersebut.

Pada konfigurasi 2 split, dengan masing – masing menerima kapasitas generator dan beban yang sama, sehingga maksimum kapasitas generator dan beban yang hilang sebesar 50 %. Untuk menghindari biaya instalasi yang tinggi, maka sistem dibagi menjadi 3 atau 4 seksi, yang mana akan mengurangi kebutuhan instalasi tambahan. Juga Change Over Switch. Yang memastikan bahwa generator atau load dapat dihubungkan ke 2 seksi Switchboard yang akan mengurangi efek biaya yang sama, misalnya untuk azimuth thruster.

Pada propulsion mode, Switchboard biasanya dihubungkan secara bersamaan, yang menghasilkan fleksibilitas terbaik dalam konfigurasi power generation plant. Load transient didistribusikan ke beberapa diesel-generator, dan unit yang paling optimal dihubungkan ke network.

2. Transformer

Transformer berfungsi untuk mengisolasi 2 bagian berbeda dari sistem distribusi daya listrik ke beberapa bagian, untuk

menyuplai kebutuhan level tegangan yang berbeda dan kadang juga digunakan pada perpindahan fase, fase shifting transformer dapat digunakan untuk menyuplai frekuensi konverter, untuk mengurangi injeksi distorted current ke jaringan daya listrik dan memutuskan arus harmonik yang dominan. Hal ini akan mengurangi distorsi tegangan generator dan output lainnya. Transformer juga mempunyai efek peredaman atas emitted noise konduktor frekuensi tinggi, khususnya apabila transformer dilengkapi dengan grounded copper shield diantara winding primer dan sekunder.

Macam – macam desain transformer yang digunakan, dan tipe yang paling banyak adalah ; tipe insulated dry, resin insulated (cast atau wound) atau oil insulated. Beberapa ketentuan , kondisi ambient, dan pilihan user, galangan ataupun supplier menentukan tipe yang dipilih, material dan desain transformer.

3. Converter

Converter merupakan istilah untuk peralatan pengkonversi tegangan ac atau dc menjadi bervariasi baik harga tegangan ataupun frekuensinya. konverter dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Rectifier, dari tegangan ac satu-tiga fasa menjadi tegangan dc yang dapat dikontrol
2. Choppers, dari tegangan dc menjadi tegangan dc yang bervariasi
3. Inverter, dari tegangan dc yang bervariasi menjadi tegangan ac satu-tiga fasa

4. Cycloconverter, dari tegangan ac satu/tiga fasa menjadi tegangan ac satu/tiga fasa yang dapat dikontrol (frekuensi dan tegangannya).

Dari keempat jenis konverter tersebut, untuk aplikasi propulsi kapal banyak digunakan cycloconverter. Cycloconverter digunakan untuk mengontrol motor induksi atau motor sinkron tegangan tinggi (high power). Umumnya cycloconverter mengontrol tegangan fasa dan menggunakan thyristor untuk setiap fasanya.

Secara umum cycloconverter menggunakan thyristor jembatan tiga fasa yang dihubungkan dengan tegangan tiga fasa. Untuk thyristor pertama tegangan output disearahkan menjadi tegangan dc + yang selanjutnya disalurkan ke beban dan menuju kutub -. (pada saat ini thyristor 2 tidak bekerja) setelah beberapa gelombang (v) maka thyristor kedua bekerja, terjadi penyearahan seperti thyristor pertama yaitu diperoleh arus + menuju beban tetapi arahnya berlawanan dengan arus pada thyristor pertama sehingga diperoleh pulsa tegangan dengan frekuensi yang lebih rendah (f_2) dari frekuensi tegangan sumber (f_1). Jadi yang perlu diperhatikan bahwa kerja thyristor 1 dan 2 selalu bergantian. Jadi dengan pengaturan panjang gelombang untuk waktu penyalan masing-masing thyristor dan pengaturan sudut penyalannya (maka diperoleh frekuensi tegangan yang berbeda-beda (lebih kecil) dengan tegangan yang tetap atau dirubah. Frekuensi tegangan ini berbanding lurus dengan kecepatan (rpm) maka dengan mengatur frekuensi dapat diperoleh kecepatan putar yang bervariasi, sesuai dengan persamaan :

$$n_s = \frac{f_s \cdot 60}{p/2} \text{ [RPM]}$$

$$\dots\dots\dots (1.1)$$

$$N = ns (1- s) \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana :

- F_s = Ferkuensi kerja (Hz)
- P = Jumlah kutub motor
- N = kecepatan putar motor
- S = Slip

4. Karakteristik motor induksi 3 phase

Sebuah motor induksi pengoperasiannya tergantung pada medan putar yang dibangkitkan oleh arus 3 phase yang seimbang dalam kumparan stator (medan magnet). Besar dari medan magnet yang dikontrol tidak tergantung dari berapa arus yang diberikan tetapi berapa tegangan yang diberikan dari sumber tegangan ke kumparan stator. Besarnya tegangan induksi yang dihasilkan pada medan putar bergantung pada tegangan suplai yang seimbang, serta dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu ;

- Total medan pada setiap kutub
- Jmlah lilitan tiap fase dari lilitan stator
- Medan putar

Oleh karena itu tegangan induksi (E) = K.o.N.f, dimana (o) adalah total fluks setiap kutub , dan N jumlah lilitan setiap kutub dan K adalah konstanta.

2.2.7 Frekuensi konverter

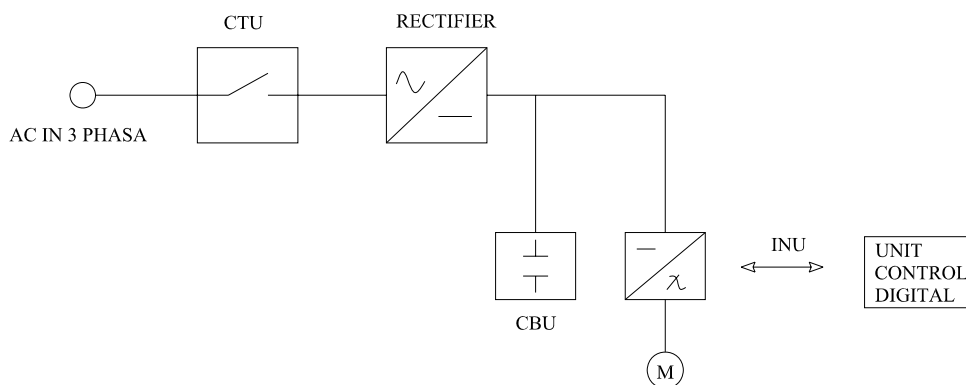
Pengertian Frekuensi konverter

Frekuensi konverter adalah suatu alat kontrol secara elektronik yang mengontrol speed dan torsi dari motor

induksi dengan melakukan perungahan frekuensi dan tegangan suplai yang konstan ke suatu nilai yang baru. Frekuensi konverter digunakan untuk menyesuaikan speed dari suatu mesin agar cocok dengan keperluan proses.

Prinsip kerja dari Frekuensi konverter

Prinsip kerja dari Frekuensi konverter dapat diilustrasikan pada blok diagram dan skema Frekuensi konverter berikut :



Gambar 2.8 Frequency Converter Diagram.

(sumber Adnanes : 2003, hal 17.)

CTU (Contactor Unit)

CTU ini berfungsi sebagai saklar / switch manual yang menghubungkan sumber AC 3 phasa dengan rangkaian converter, sifat CTU disini adalah normaly open (sebelum ditekan saklar dalam kondisi terbuka)

Rectifier (penyearah)

Rectifier adalah rangkaian yang berfungsi sebagai penyearah, dimana sumber tegangan 3 phasa tersebut akan diserahkan dengan menggunakan 6 buah dioda, tegangan AC disini akan diserahkan menjadi tegangan DC.

CBU (Capacitor Bank Unit)

CBU disini berfungsi sebagai filter yang bertujuan untuk menghilangkan ripple yang terdapat pada tegangan DC dari rectifier, karena semakin banyak ripple pada tegangan DC tersebut akan mengakibatkan performa rangkaian inverter semakin menurun.

INU (Inverter unit)

Tegangan DC yang dihasilkan dari rangkaian penyearah diumpankan ke rangkaian inverter. Pada rangkaian inverter ini digunakan 6 buah IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor), dimana keluaran dari inverter ini dihubungkan ke motor induksi 3 fase. Pada inverter ini tegangan DC diubah menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang dapat diatur. Pengaturan IGBT ini dilakukan melalui Unit control Digital.

Unit Control Digital

Fungsi dari Unit Control Digital adalah untuk mengontrol penguatan switching PWM (Pulse Width Modulation) yang

akan digunakan ke rangkaian IGBT, unit ini juga dapat memonitor kerja motor inverter. Fungsi lain dari unit control ini adalah menerima perintah dari luar seperti start / stop , tombol reference dan juga unit pengaturan setting dari frekuensi converter.

2.3. Analisa Ekonomis

Pada pelaksanaan pembangunan, mulai dari ide, studi kelayakan, perencanaan, pelaksanaan sampai pada operasi pemeliharaan membutuhkan bermacam – macam biaya. Pada analisis kelayakan ekonomi, biaya – biaya tersebut dikelompokkan menjadi beberapa komponen sehingga memudahkan analisa perhitungannya.

2.3.1 Biaya modal (Capital Cost)

Definisi dari biaya modal adalah jumlah semua pengeluaran yang dibutuhkan mulai dari pra studi sampai proyek selesai dibangun. Semua pengeluaran yang termasuk biaya modal ini dibagi menjadi dua bagian :

a) Biaya Langsung (Direct Cost)

Biaya ini merupakan biaya yang diperlukan untuk pembangunan sebuah proyek. Biaya ini merupakan biaya konstruksi yang akan ditawarkan pada kontraktor.

b) Biaya Tak Langsung (Indirect Cost)

Biaya ini ada tiga komponen yaitu :

i) Biaya tak terduga dari biaya langsung. Kemungkinan hal yang tak terduga ini dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

- Pengeluaran yang timbul tapi tidak pasti
- Biaya yang mungkin timbul tapi tidak terlihat
- Biaya yang mungkin timbul karena kenaikan harga

ii) Biaya teknik (Engineering Cost)

Biaya teknik adalah biaya pembuatan desain mulai dari studi awal (preliminary study), pra studi kelayakan, studi kelayakan, biaya perencanaan dan pengawasan selama waktu konstruksi.

iii) Bunga (Interest)

Dari periode waktu dari ide sampai pelaksanaan fisik, bunga berpengaruh terhadap biaya langsung, biaya tak terduga, dan biaya teknik sehingga harus diperhitungkan.

c) Biaya tahunan (Annual Cost)

Waktu sebuah proyek selesai dibangun merupakan waktu awal dari umur proyek sesuai dengan rekayasa teknik yang telah dibuat pada waktu detail desain. Pada saat ini pemanfaatan proyek mulai dilaksanakan. Selama pemanfaatan, proyek ini masih diperlukan biaya sampai umur proyek selesai. Biaya ini merupakan beban yang masih harus dipikul oleh pihak pemilik / investor. Pada prinsipnya biaya yang masih diperlukan sepanjang umur proyek ini merupakan biaya tahunan (A) terdiri dari :

+) Bunga

Biaya ini menyebabkan terjadinya perubahan biaya modal karena adanya tingkat suku bunga selama umur proyek. Besarnya bisa berbeda dengan bunga selama waktu dari ide sampai pelaksanaan fisik selesai. Bunga ini merupakan komponen terbesar yang diperhitungkan terhadap biaya modal.

+) Depresiasi / amortisasi

Depresiasi adalah turunnya nilai / harga dari sebuah benda karena pemakaian dan kerusakan benda itu, sedangkan amortisasi adalah pembayaran dalam suatu periode tertentu.

+) Biaya operasi pemeliharaan

Agar dapat memenuhi umur proyek sesuai dengan yang direncanakan pada detail desain maka diperlukan biaya untuk operasi dan pemeliharaan proyek.

Beberapa rumus penting merupakan dasar analisis ekonomi proyek yang berdasarkan interest compound dan metode penggandaan yang berperiode (discrete compounding).

$i = 10\%$ Discrete Compounding, Discrete Cash Flows

N	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				Arithmetic Gradient Series Factor
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Uniform Series Factor	Capital Recovery Factor	Series Present Worth Factor	
N	$(F/P, i, N)$	$(P/F, i, N)$	$(A/F, i, N)$	$(F/A, i, N)$	$(A/P, i, N)$	$(P/A, i, N)$	$(A/G, i, N)$
1	1.1000	0.90909	1.0000	1.0000	1.1000	0.90909	0.00000
2	1.2100	0.82645	0.47619	2.1000	0.57619	1.7355	0.47619
3	1.3310	0.75131	0.30211	3.3100	0.40211	2.4869	0.93656
4	1.4641	0.68301	0.21547	4.6410	0.31547	3.1699	1.3812
5	1.6105	0.62092	0.16380	6.1051	0.26380	3.7908	1.8101
6	1.7716	0.56447	0.12961	7.7156	0.22961	4.3553	2.2236
7	1.9487	0.51316	0.10541	9.4872	0.20541	4.8684	2.6216
8	2.1436	0.46651	0.08744	11.436	0.18744	5.3349	3.0045
9	2.3579	0.42410	0.07364	13.579	0.17364	5.7590	3.3724
10	2.5937	0.38554	0.06275	15.937	0.16275	6.1446	3.7255
11	2.8531	0.35049	0.05396	18.531	0.15396	6.4951	4.0641
12	3.1384	0.31863	0.04676	21.384	0.14676	6.8137	4.3884
13	3.4523	0.28966	0.04078	24.523	0.14078	7.1034	4.6988
14	3.7975	0.26333	0.03575	27.975	0.13575	7.3667	4.9955
15	4.1772	0.23939	0.03147	31.772	0.13147	7.6061	5.2789
16	4.5950	0.21763	0.02782	35.950	0.12782	7.8237	5.5493
17	5.0545	0.19784	0.02466	40.545	0.12466	8.0216	5.8071
18	5.5599	0.17986	0.02193	45.599	0.12193	8.2014	6.0526
19	6.1159	0.16351	0.01955	51.159	0.11955	8.3649	6.2861
20	6.7275	0.14864	0.01746	57.275	0.11746	8.5136	6.5081

Gambar 2.9 Discrete Cash Flow.
(sumber Modul 3 Tekno Ekonomi Maritim, Dwi Priyanta, hal 13.)

Definisi

Berikut ini adalah definisi dari variabel yang akan digunakan dalam perhitungan:

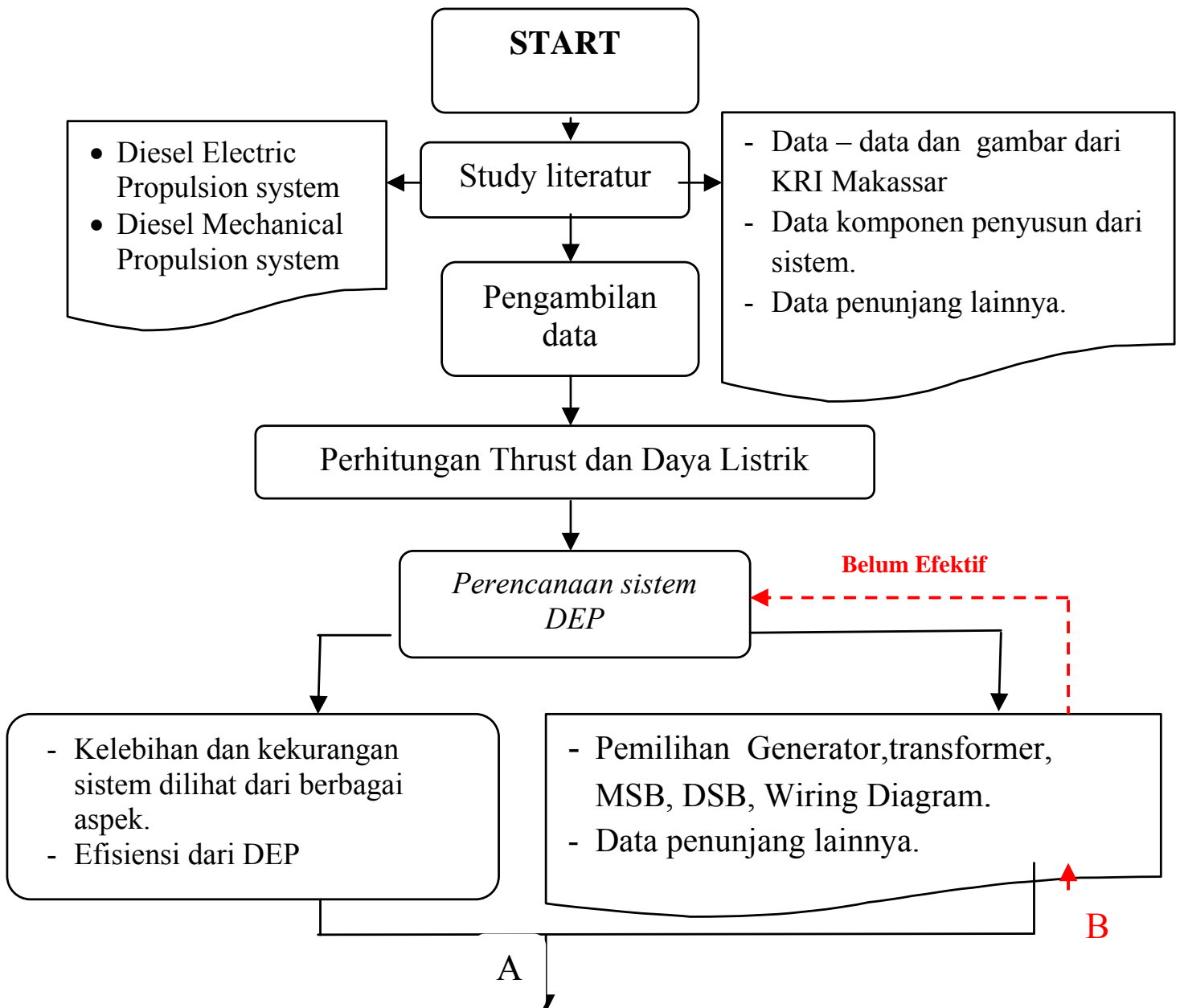
- i*** suku bunga per periode, dalam desimal
- N*** jumlah periode (juga disebut rentang waktu studi)
- P*** Aliran dana/nilai sekarang (Present cash flow)
- F*** Aliran dana/nilai akan datang (Future cash flow) pada akhir periode *N*
- A*** Aliran dana seragam/sama (Uniform periodic cash flow) biasa disebut annuity yaitu terjadi sertiap akhir periode dari 1 sampai *N*.
- G*** Gradient atau perubahan konstan tiap periode (kenaikan atau penurunan) yang terjadi dalam periode 1 sampai *N* (arithmetic series)

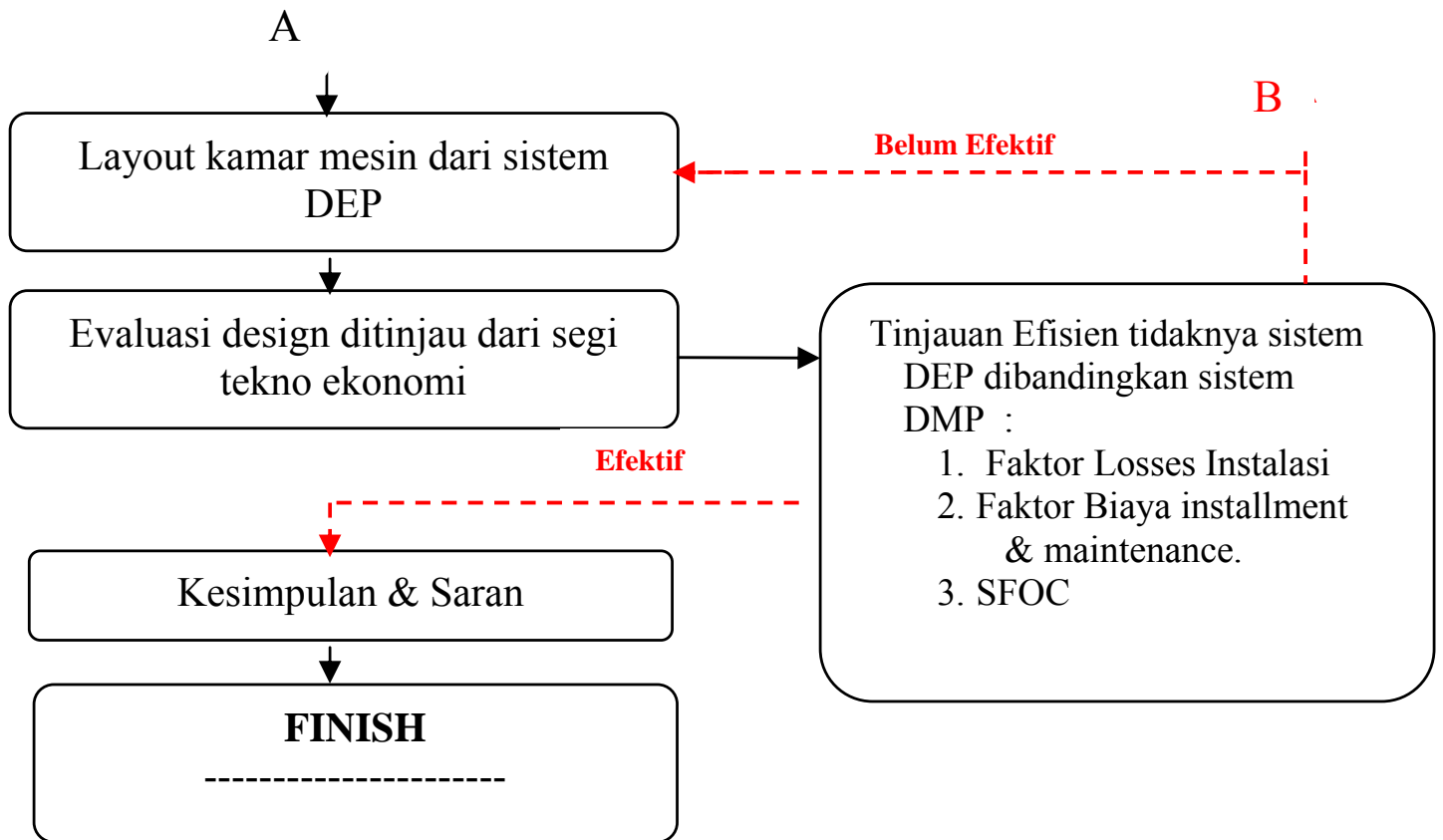
Dari table 1. dan interest table file excel dalam lampiran, dapat dilihat faktor-faktor yang akan dipakai dalam perhitungan ekonomi teknik berikut:

1. $(F/P, i\%, N)$ adalah compound amount factor
2. $(P/F, i\%, N)$ adalah present worth factor
3. $(A/F, i\%, N)$ adalah sinking fund factor
4. $(F/A, i\%, N)$ adalah uniform factor
5. $(A/P, i\%, N)$ adalah capital recovery factor
6. $(P/A, i\%, N)$ adalah series present worth factor
7. $(A/G, i\%, N)$ adalah gradient series factor

BAB 3 METODOLOGI

Untuk menyelesaikan masalah di atas maka akan dilakukan studi kasus pada KRI Makassar. Dengan desain hull, kebutuhan thrust dan kapasitas yang sama akan diterapkan penggunaan salah satu sistem propulsi (DEPP atau CODLAG) sebagai pengganti DMP. Metodologi yang akan digunakan dalam penulisan tugas akhir ini dapat dilihat dari flowchart di bawah ini :





Gambar 3.1 : Metodologi

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan pengumpulan referensi-referensi mengenai materi yang berhubungan dengan sistem DEP dan Compact Azipod, frekuensi converter, MSB,DSB, serta seluruh data yang berhubungan dengan pembahasan.

Literatur-literatur tersebut didapatkan dari:

1. Text Book
2. Internet
3. Artikel .

3.2 Pengumpulan data dari lapangan

Adapun data-data yang dibutuhkan:

- Ukuran utama kapal :
 - *Panjang, lebar, sarat, tinggi dan Cb kapal*
 - Data penunjang lain dari kapal tersebut.
- *Properties* komponen :
 - Main Engine
 - Generator
 - Gearbox
 - Propulsor
 - Komponen penunjang lain (Kopling, Poros)
- *General Arrangement*
- *Tank Top and Platform Arrangement*
- *Cargo Hold Arrangement*

3.3 Perhitungan Thrust dan Daya Listrik

Dalam menganalisa perhitungan thrust horse power yang dibutuhkan oleh kapal, kita dapat meninjaunya dari besarnya main engine kapal. Dari Perhitungan tersebut kita akan mendapatkan

besarnya THP. Nilai thrust dari perhitungan tersebut kemudian akan digunakan untuk menentukan EHP dengan menentukan efisiensi hull terlebih dahulu. Kemudian nilai EHP tersebut kita gunakan sebagai input untuk menentukan tipe propulsor (compact azipod yang akan digunakan).

Selanjutnya kita akan melakukan perhitungan kebutuhan daya listrik yang harus disuplai untuk kebutuhan daya listrik dari jenis propulsor yang digunakan dan frekuensi converter yang dipilih dan equipment penunjang lainnya. Setelah mengetahui besarnya seluruh kebutuhan listrik ditambah dengan kebutuhan suplai dari propulsor itu sendiri maka selanjutnya kita akan menentukan besarnya genset yang akan digunakan.

3.4 Perencanaan Sistem DEP

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk perencanaan sistem DEP serta skenario pemasangannya. Sehingga akan didapatkan kelebihan dan kekurangan untuk masing – masing sistem.

Setelah kita melakukan pemilihan genset, selanjutnya akan direncanakan layout kamar mesin dari sistem yang dipilih. Apabila perencanaan tersebut ternyata kurang efektif, ditinjau dari segi tekno ekonomi, maka akan dilakukan perencanaan ulang. Sehingga didapatkan sebuah sistem yang tepat untuk kapal LPD ini.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Dari analisa yang dilakukan maka tahap selanjutnya adalah membuat kesimpulan tentang hal permasalahan yang dibahas, dan kemudian memberikan saran-saran atau rekomendasi.

BAB IV
ANALISA DATA
DAN PEMBAHASAN

BAB 4

**PENERAPAN DEPP
DAN
KAJIAN TEKNO EKONOMI**

4.1 PERHITUNGAN TEKNIS SISTEM

Kapal yang ditinjau dalam studi kasus ini adalah KRI Makassar 90 milik TNI AL Indonesia. Sehingga diperoleh data utama kapal sebagai berikut :

1. MAIN DIMENSION :

- Name of Ship : M/V KRI Makassar – 590
- Kind of Ship : Landing Platform Dock
- Owner : Indonesian NAVY
- Ship Building : SB / 458

- Length (O.A) : 122.000 m
- Length (B.P) : 109.200 m
- Breadth (MLD) : 22.000 m
- Depth : 6.7 / 11.3 m
- Draft (D.L.W.L) : 4.5000 m
- (S.L.W.L) : 6.000 m

- Speed
 - (OPERATION) : 14.000 Knots
 - (ECONOMIC) : 12.000 Knots

- Gross Tonnage (INTERNATIONAL) : 11.3000 Ton

- Displacement : 7.3000 Ton

2. MAIN ENGINE

- Type : STX MAN B&W, 9L28 / 32A
- Numb. of Set : 2 Sets
- Output : 3000 BHP x775 rpm (per engine)

3. PROPELLER

- Type : C.P.P
- Diameter : 3.20 m
- Propeller of speed ; 182 rpm
- Design Pitch : 3.596 m (at 0.7 R)

4. GENERATOR ENGINE

- Main : 500 KW (2 set), at normal service (66%)
- Emergency : 400 KW (1 set), at blackout (86 %)

5. COMPLEMENT : 618 P

- Crews : 100 P
- Troops : 507 P
- Guest : 11 P

6. PART

(at Normal Service on Continuous Load)

- a) E/r aux.mach. : 96,6 KW
- b) Accom. & on deck : 338,1 KW
- c) Fan : 70,3 KW
- d) Emergency (at blackout) : 342,8 KW

a) E/R AUX.MACH.

DESCRIPTION	NO OF SET	EACH POWER	
		KW INPUT	KW OUTPUT
M/E GEAR BOX S/B L.O PUMP	2	24.6	22
M/E L.O PRIMING PUMP	1	0.9	0.63
L.O TRANSFER PUMP	1	1.9	1.5
F.O TRANSFER PUMP	2	4.6	3.7
F.O PURIFIER	2	6.5	5.5
L.O PURIFIER	2	4.56	3.7
L.O PURIFIER HEATER	2	19	19
J.WATER PREHEATER HEATER	2	13.5	13.5
F.W GENERATOR	2	17.79	15.75
MAIN AIR COMPRESSOR	2	8.7	7.5
SERVICE AIR COMPRESSOR	1	13.5	12
BALLAST PUMP	3	40.3	37
FIRE & BILGE PUMP	2	40.3	37

FIRE & G/S PUMP	1	40.3	37
AUX. BOILER	1	12	10
CALORIFIER	2	30	30
HOT WATER CIR. PUMP	2	1.9	1.5
F.W HYD. PUMP	2	2.7	2.2
S.W HYD. PUMP	1	2.7	2.2
OIL BILGE PUMP	1	1	0.75
SLUDGE PUMP	1	1.9	1.5
INCINERATOR	1	15	13.5
VACCUM SANITATION SYS	1	10.8	9
SEWAGE TREATMENT	2	2.8	2.25
E.C.R PACKAGE AIRCON	1	7	6.5
CHILLER C.W PUMP	2	21.4	18.5
AIR CON. C.S.W PUMP	2	33.5	30
REF. PLANT C.S.W PUMP	1	1.9	1.5
AUX. C.S.W PUMP	2	8.7	7.5
E/R HOIST	4	1.5	1.2
DOCK WELL HOIST	1	1.5	1.2

b) ACCOM. & ON DECK

DESCRIPTION	NO OF SET	EACH POWER	
		KW INPUT	KW OUTPUT
CHILLER UNIT	2	140	132
AIR HANDING UNIT	1	33.5	30
AIR HANDING UNIT	1	17.4	15
AIR HANDING UNIT	1	24.6	22
REF. PLANT	2	6.38	5.5
BOW THRUSTER	1	745	700
STEERING GEAR	4	6.7	5.7
WINDLASS & SNAKE WINCH	2	60	55
MOORING WINCH & STERN RAMP	3	71.5	65
ACCOM. LADDER WINCH	2	2.7	2.2
RUBBER BOAT DAVIT	1	16.9	15
W.T SLIDING DOOR PUMP	2	1	0.75
TURN TABLE FOR CAR HAND	1	7.9	6.8

GALLEY EQUIPMENT(440)	2	110	110
LAUNDRY EQUIPMENT(440)	5	21	21
BATTERY CH. & DISCH. BOARD	1	2	2
MAIN TRANSFORMER	2	90	90
EM'CY TRANSFORMER	1	60	60

c) FAN

DESCRIPTION	NO OF SET	EACH POWER	
		KW INPUT	KW OUTPUT
ENGINE ROOM FAN	2	12.8	11
AUX. MACH ROOM FAN	2	6.3	5.5
SHAFT ROOM FAN	2	6.3	5.5
STEERING GEAR ROOM FAN	1	0.5	0.4
BOW THRUSTER ROOM FAN	1	1	0.75
HANGAR FAN	1	1.8	1.5
GALLEY FAN(B-DECK)	1	0.5	0.4

GALLEY FAN(D-DECK)	1	1	0.75
SANITARY FAN	1	1	0.75
SANITARY FAN	1	1.8	1.5
SANITARY FAN	1	0.5	0.4

D) EMERGENCY PART

DESCRIPTION	NO OF SET	EACH POWER	
		KW INPUT	KW OUTPUT
STEERING GEAR	2	6.7	6
AIR COMPRESSOR	1	8.7	7.5
SERVICE AIR COMPRESSOR	1	13.5	12
BALLAST PUMP	2	40.3	37
FIRE & G/S PUMP	1	40.3	37
FIRE & BILGE PUMP	2	40.3	37
DECK MACH.HYD PUMP	1	71.5	65
RUBBER BOAT DAVIT	1	16.9	15

W.T SLIDING DOOR HYD PUMP	2	1	0.75
ELECTRIC HORN	1	6.3	5.5
BATTERY CH.& DISCH. BOARD	1	2	2
NAUTICAL & RADIO EQUIPMENT	1	6	6
EM'CY TRANSFORMER	1	60	60
ENGINE ROOM FAN	1	12.8	11
AUX. MACH ROOM FAN	1	6.3	5.5
SHAFT ROOM FAN	1	6.3	5.5
EM'CY GEN. ROOM FAN	1	1.8	1.5
BOW THRUSER ROOM FAN	1	1	0.75
TANK DECK FAN	2	12.8	11
HELICOPTER VISUAL LANDING AID SYSTEM	1	5	5
TURN TABLE	1	7.5	6.8

Tabel 4.1 Rincian Kebutuhan Suplai listrik KRI Makassar 590

4.2 Pola Pembebanan Kelistrikan KRI Makassar 590

Pola pembebanan kelistrikan KRI Makassar 590 adalah perhitungan kebutuhan daya listrik pada setiap kondisi operasional kapal. Dalam hal ini kapal mempunyai 4 kondisi operasional, yaitu :

- a) Kondisi normal service
- b) Kondisi Depp. & Arrival
- c) Kondisi Harbour service
- d) Kondisi Emergency

Dari data yang didapatkan, dapat diketahui pola pembebanan tersebut dalam tabel resume kebutuhan dan daya pola pembebanan kapal berikut ini :

DESCR I PTI ON	DEMAND FACTOR & POWER CONSUMPTI ON		
	NORMAL SERVI CE	DEP. & ARRI VAL	HARBOUR SERVI CE
CONTI NUOUS LOAD POWER REQUI RED (KW)	505.0	1112.1	503.7
I NTERM ITTENT LOAD POWER TOTAL (KW)	305.8	301.0	342.9
DI VERSI TY FACTOR	2.0	2.0	2.0
I NTERM ITTENT LOAD POWER REQUI RED (KW)	152.9	150.5	171.5
TOTAL POWER REQUI RED (KW)	657.9	1262.6	675.2
NQ. OF GENERATOR 625KVA (500KW) x 3SETS	500KW x 2SETS	500KW x 3SETS	500KW x 2SETS
LOAD PERCENTAGE ABOUT GENERATOR (%)	66%	84%	68%

Sedangkan untuk Emergency Load adalah sebagai berikut :

DESCR I PTI ON	AT BLACKOUT	AT FI RE
TOTAL POWER REQUI RED (KW)	342.8	298.8
EM CY GENERATOR (KW) 500KVA (400KW) x 1SET	400KW x 1SET	400KW x 1SET
LOAD PERCENTAGE OF EM CY GENERATOR (KW)	0.857	0.747

Tabel 4.2 Total Kebutuhan Suplai listrik KRI Makassar 590

สรุป

Pada sistem DEP, ada beberapa item yang terdapat pada existing system yang tidak diperlukan lagi dan beberapa item sebagai penunjang sistem DEP yang antara lain sebagai berikut :

Beberapa item yang terdapat pada existing system yang tidak diperlukan lagi :

1. Main Engine

Main Engine merupakan penggerak utama sistem propulsi dengan sistem mekanik, digantikan dengan generator set sebagai suplai daya listrik utama seluruh sistem, baik sistem propulsi, akomodasi, navigasi dan permesinan bantu.

2. Auxiliary Engine

Generator set yang digunakan sebagai Auxiliary Engine digunakan sebagai suplai kebutuhan listrik pada existing system. Kebutuhan daya listrik yang disuplai oleh auxiliary engine ini akan diganti oleh generator set yang dipakai pada system DEP.

3. Gear Box

Gear box digunakan sebagai pereduksi dan pembalik putaran main engine.

4. Shaft

Pada system DEP, daya yang disuplai dari generator set ditransmisikan secara elektrik dengan wiring diagram system sehingga shaft untuk mentransmisikan daya main engine ke propeller tidak diperlukan lagi.

5. Shaft Alternator

Shaft alternator sebagai pengubah energi meaknik dari shaft menjadi energi listrik yang disebut Pwer Take Off (

PTO).Energi listrik ini tidak dipakai lagi seiring tidak dipakainya shaft.

6. Sistem Penunjang

Seiring dengan hal tersebut di atas maka sistem penunjang item- item tersebut tidak diperlukan lagi. Sistem penunjang tersebut antara lain :

- Hidraulic pump for steering gear
- Steering Gear Supply fan
- Sea Water Cooling pump for Gear Box

Item – item pada existing sytem yang tidak dibahas sebelumnya tetap dipakai dan tidak disubstitusi pada penerapan sistem DEP.

Pada penerapan sistem DEP diperlukan beberapa item sebagai penunjang sistem DEP sebagai berikut :

1. Generator Set

Generator set adalah supali utama dari semua kebutuhan listrik di kapal baik untuk sistem propulsi maupun kebutuhan akomodasi. Jumlah dan spesifikasi dari genset ini diperoleh dari perhitungan kebutuhan daya listrik pada sub bab selanjutnya. Sehingga generator set akan dikopel oleh motor diesel sebagai prime mover.

2. Cycloconverter

Cycloconverter digunakan untuk menyesuaikan frekuensi listrik antara generator sebagai suplai utama dengan peralatan yang bekerja .

3. Transformer

Transformer digunakan untuk menyesuaikan arus dan tegangan listrik antara generator sebagai suplai utamadan peralatan yang bekerja. Pemilihan Transformer harus sesuai dengan generator set yang telah terinstall pada sistem DEP untuk disalurkan ke peralatan – peralatan.

4. Main Switch Board (MSB)

Main Switch Board berfungsi untuk membagi dan mengatur data dari generator sebagai suplai utama dengan peralatan yang bekerja.

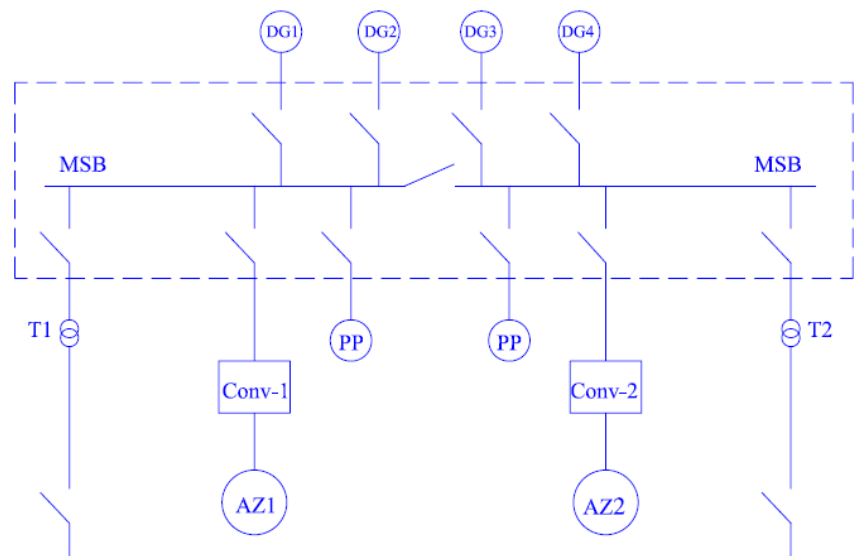
Langkah selanjutnya adalah perhitungan daya listrik total yang dibuthkan di kapal. Kebutuhan ini dihitung berdasarkan kebutuhan daya existing sistem dikurangi dengan kebutuhan daya listrik item – item yang tidak terpakai dan ditambah dengan kebutuhan daya listrik item – item tambahan sebagai penunjang sistem DEP tersebut di atas pada penerapan sistem DEP.

Adapun langkah – langkah dalam perhitungan dan instalasi sistem DEP ini , antara lain :

- Skema dari sistem DEP yang akan diterapkan
- Perhitungan thrust dan pemilihan propulsor
- Pemilihan Frekuensi Konverter
- Perhitungan Daya listrik
- Generator set
- Pemilihan Transformer dan Distribution Board
- Layout Design Engine Room

4.3.1 Skema Sistem DEP

Skema sistem DEP ini berdasar pada rekomendasi Asean Brown Broveri (ABB / marine) pada penerapan azimuth thruster untuk sistem diesel – electric propulsion di kapal. Sistem tersebut memenuhi peraturan American Bureau of Shipping (ABS) 5.5. Electric Power Supply System. Dimana selain melayani propulsi, generator juga melayani kebutuhan lainnya.



Gambar 4.1 Power plant system with azimuth thruster propulsion

- DG1,DG2,DG3,DG4
(Diesel Generator set 1,2,3 dan 4 yang menjadi sumber tenaga listrik system DEP kapal)
- MSB
Main Switchboard,untuk mendistribusikan energi listrik dari DG ke seluruh system.
- PP
Power Pack for Anchor Throwing
- BM

- Motor untuk Bow Thruster
- Conv-1, Conv-2
Frekuensi converter 1 dan 2 pada kapal yang berfungsi untuk menyesuaikan/ menyinkronkan frekuensi generator seiring RPM pada penggunaan propeller.
- T1, T2
Transformer 1 dan 2, untuk menurunkan tegangan dari MSB ke SB untuk penggunaan kebutuhan listrik dengan tegangan rendah.
- CA1, CA2
Compact Azipod 1 dan 2 sebagai propulsor kapal dengan sistem DEP
- DSB
Distribution Switchboard, untuk mendistribusikan energi listrik dengan tegangan yang telah diturunkan oleh transformator, untuk kebutuhan energi listrik dengan daya yang lebih rendah.

4.4 PERHITUNGAN TAHANAN KAPAL

1. Viscous Resistance

adalah tahanan yang diakibatkan karena adanya kekentalan fluida, adapun rumus dari viscous resistance (principle of naval architecture vol. II, 90) adalah :

$$R_v = 0.5\rho V^2 C_f (1+k_1) S$$

berdasarkan ITTC-1957 diperoleh koef. tahanan gesek :

$$\begin{aligned} C_f &= 0.075 / (\log R_n - 2)^2 \\ &= 0.0016041 \end{aligned}$$

- Length of run (L_r)

$$LR = Lwl\{1-CP+0.06CPxLcb/(4CP-1)\}$$

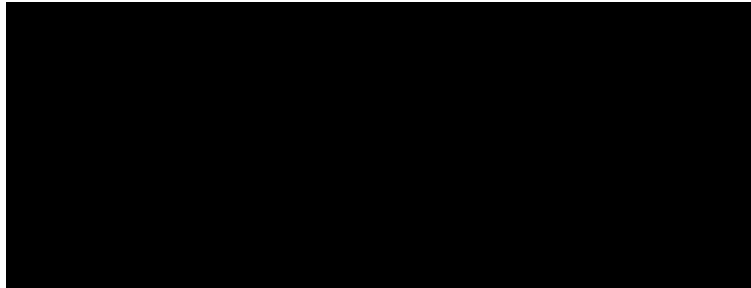
$$= 36,8359 \text{ m}$$

- Form Factor of bare hull (1+k1)

$$= 0.93+0.4871c(B/L)^{1.0681}(T/L)^{0.4611}(L/Lr)^{0.1216}(L^3/\nabla)^{0.3649}(1-Cp)^{-0.6402}$$

$$= 1,2508$$

dimana c adalah nilai koefisien untuk bentuk khusus buritan kapal. Koefisien Cstern (principle of naval architecture vol. II, 91) :



sehingga :

Tabel 4.3 Koefisien C. Stern

$$Rv = 0.5\rho V^2 C_f(1+k1)S$$

$$= 153,0807 \text{ kN.}$$

2. Appendages Resistance

Type of appendages resistance : rudder of twin screw ship,

$$(1+k2) = (1+k1)+\{(1+k2)-(1+k1)\} * S_{app}/S_{tot}$$

$$= 1.2537$$

dan

$$Sk_{mdi} = c1.c2.c3.c4(1.75.L.T/100)$$

$$= 6.6777 \text{ m}^2$$

dimana :

c1 =	untuk faktor tipe kapal
=	1.0 untuk kapal umum
=	0.9 untuk bulk carier dan tanker dengan displacement >50.000 ton
=	1.7 untuk tug dan trawler
c2 =	untuk faktor tipe rudder
=	1.0 untuk kapal umum
=	0.9 semi spade rudder
=	0.8 untuk double rudder
=	0.7 untuk high lift rudder
c3 =	untuk faktor profil rudder
=	1.0 untuk NACA-profil dan plat rudder
=	0.8 untuk hollow profil
c4 =	untuk rudder arrangement
=	1.0 untuk rudder in the propeller jet
=	1.5 untuk rudder outside the propeller jet

Tabel 4.4 Koefisien Appendages

Tahanan tambahan mempengaruhi tahanan viskositas, sehingga tahanan viskositas total adalah :

$$R_v = 0.5\rho V^2 C_f (1+k_1) S$$

$$= 154.039 \text{ kN}$$

3. Wave Making Resistance

$$R_w/W = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot e^{[m_1 F_n d + m_2 \cos(\lambda F_n - 2)]}$$

Dimana :

$$c_1 = 2223105 \cdot c_4^3 \cdot 7861 (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{-1.3757}$$

$$= 2.4183$$

$$c_2 = 1 \text{ (tanpa bulbous bow)}$$

$$c_3 = 1 - 0.8 (A_t / B \cdot T \cdot C_m) \text{ (} A_t = 0 \text{ , immersed are of transom at zero speed)}$$

$$= 1$$

$$c_4 = 0.5 - 0.0625 L/B \quad \text{untuk } B/L < 0.25$$

$$= 0.177$$

$$c5 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3 = 1.257$$

$$c6 = -1.69385 \text{ (untuk } L^3/\nabla \text{ £ 512)}$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B ; L/B = 5.162 = 0.855$$

$$D = -0.9$$

$$m1 = 0.01404 L/T - 1.7525 \nabla^{1/3} /L - 4.7932 B/L - c5 = -2.184$$

$$m2 = c6.0.4 e^{(-0.034Fn^{(-3.29)})} = -0.003$$

$$\text{maka : } R_w/W = c1.c2.c3.e^{[m1Fn+m2\cos(\lambda Fn-2)]} = 40 \text{ kN}$$

Catt :

$$L^3/\nabla = 133.644$$

$$W = \rho.g.\nabla = 110095.23 \text{ ton.}$$

4. Model Ship Correlation allowance

adalah nilai koreksi yang berhubungan dengan model kapal.

Untuk nilai $T/L < 0.4$ ($T/L = 0.05$) maka Ca :

$$Ca = 0.006(Lwl+100)^{-0.16-0.00205+0.003(Lwl/7.5)^{0.5}*Cb^4*c2(0.04-T/Lwl)} = 0.000450$$

$$Ra = 0.5 \rho. V^2.Ca.S = 34.3816$$

5. Tahanan Total

$$Rt = 0.5 \rho. V^2.Stot[Cf(1+k)+Ca]+Rw = 228.555 \text{ kN.}$$

$$\begin{aligned} R_t(\text{dinas}) &= (1+15\%) \times R_t \\ &= 262.838 \text{ kN}. \end{aligned}$$

6. Daya Efektif Kapal

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= R_t(\text{dinas}) \times V_s \\ &= 1892.858 \text{ kW} (2573.567 \text{ HP}) \end{aligned}$$

7. Wake fraction, Thrust deduction, Speed of advance

Wake fraction adalah salah satu propulsion parameter yang merupakan nilai dari wake speed. Wake speed adalah nilai perbedaan antara kecepatan dinas dan speed of advance. Wake fraction untuk kapal twin screw dapat dilihat pada tabel 4 hal 158 Principle of Naval Architect dan untuk kapal dengan $C_{bWL} = 0.703$, nilai wake fractionnya adalah sbb:

Cb	w
0,5	0,230
0,55	0,234
0,6	0,243
0,65	0,260
0,7	0,283

Cb	w
0,75	0,314
0,8	0,354
0,85	0,400
0,9	0,477

(Taylor, Principal of Naval Architecture, hal. 394, table 29)

Tabel 4.5 Koefisien Wake Friction

Menentukan Speed of Advance (V_a) :

$$\begin{aligned} V_a &= (1-w) \times V_s \\ &= 10.038 \text{ knot} (5.163 \text{ m/s} ; 16.9422 \text{ ft/s}). \end{aligned}$$

Perhitungan Thrust Deduction Fraction untuk twin screw ship dapat dilihat pada Principle of Naval Architect Vol II hal 160, sbb :

$$t = (0.7 - 0.9) \times w$$

$$= 0.1981$$

sehingga efisiensi lambung didapatkan sbb:

$$\eta_H = (1-t)/(1-w)$$

$$= 1.118$$

nilai dari efisiensi relatif rotatif untuk kapal dengan menggunakan propulsor twin screw Azimuthing Pod Driv adalah 1.04-1.07. Dalam perencanaannya menggunakan nilai 1.04. Menghitung Thrust Propeler :

$$T = EHP / [(1 - t) \cdot V_s]$$

$$= 457.140 \text{ kN. (service condition)}$$

8. Menghitung K_t/J^2

Untuk mendapatkan efisiensi open water dari propeller pada operating condition yang berbeda-beda, terlebih dahulu harus dibuat kurva $(K_t/J^2) \times J^2$ untuk J yang bervariasi. dimana D (diameter propeller) ditentukan maks. Sebesar, $D = 0,6 T < D < 0,7 T$ (*diambil D sebesar 3.0 m*).

-Menghitung gaya dorong (T)

$$\text{Gaya dorong (servis)} = R_t \text{ dinas} / (1-t)$$

$$= 327.7699 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya dorong (clean Hull)} = R_t / (1-t)$$

$$= 285.0173 \text{ kN}$$

$$(K_t/J^2)_{\text{servis}} = T / (\rho \times D^2 \times V_a^2)$$

$$= 1.3362$$

$$(K_t/J^2)_{\text{clean hull}} = T / (\rho \times D^2 \times V_a^2)$$

$$= 1.1588$$

-Grafik hubungan KT-J

$$J = V_a / (nD)$$

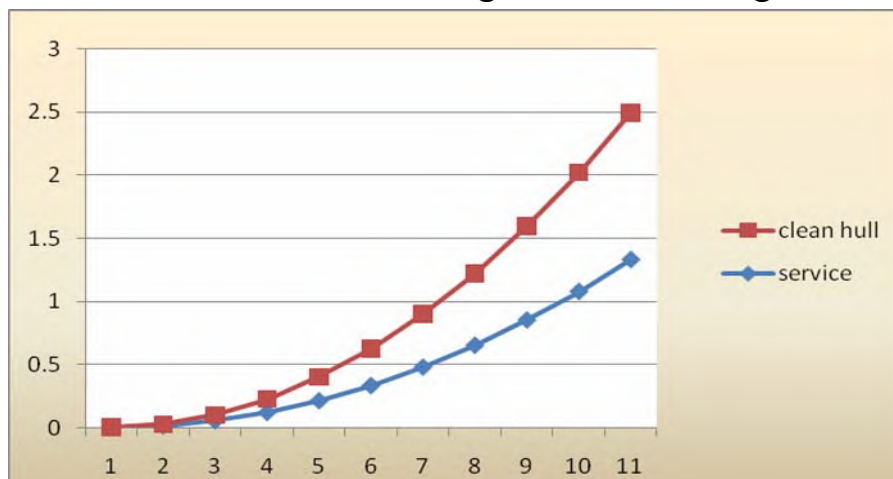
$$KT = \beta \times J^2$$

Sehingga dengan memvariasikan nilai J akan didapat load propeler terhadap lambung kapal.

J	KT services	KT Clean Hull
0	0	0
0.1	0.013326	0.011588
0.2	0.053305	0.046352
0.3	0.119936	0.104292
0.4	0.213219	0.185408
0.5	0.333155	0.2897
0.6	0.479743	0.417168
0.7	0.652984	0.567812
0.8	0.852877	0.741632
0.9	1.079422	0.938628
1	1.33262	1.1588

Tabel 4.6 KT, KQ, J

bagai berikut :



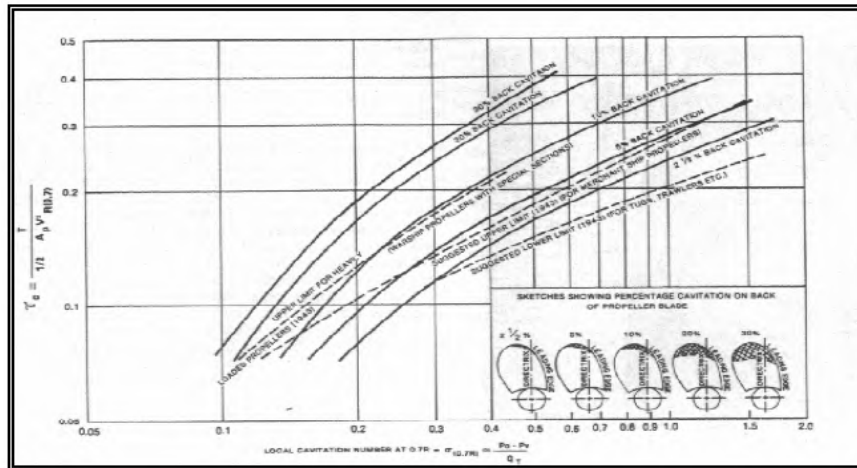
Gambar 4.2 KT - J

Menghitung Kavitasasi

$$\sigma_{0,7R} = (188.2 + 19,62(h)) / V_a^2 + 4,836 n^2 D^2$$

$$= 0.471$$

$\sigma_{0,7R}$ digunakan untuk mengetahui angka kavitasi pada diagram Burril dengan memotongkan nilai $\sigma_{0,7R}$ dan grafik upper limit merchant ship propeller, sehingga diperoleh :



$$tC \quad (burril) \quad = \quad 0.18$$

Gambar 4.3 Burril Diagram

Thrust Coefficient

$$tC \text{ (hitung)} = (T / A_p) / (1/2 \times \rho \times V_r^2)$$

dimana,

$$T = \text{thrust}$$

$$= 457140.7 \quad \text{N}$$

$$V_r^2 = \text{kecepatan relative air pada radius } 0.7$$

$$= V_a^2 + (0.7 \times \pi \times n \times d)^2$$

$$= 585.7361 \quad \text{m/s}$$

$$\rho = 1025 \quad \text{kg/m}^3$$

$$A_p = \text{Projected area propeller}$$

$$= A_d [1.067 - 0.229 (P/D)]$$

maka :

$$A_o = 0,25 \times \pi \times D_b^2$$

$$= 7.065 \text{ m}^2$$

$$A_d/A_o = 0.6$$

$$A_d = 4.9455$$

$$A_p = A_d / (1,067 - (0,229[P/D]))$$

$$= 4.257$$

Sehingga didapatkan nilai tC perhitungan sebesar :

$$tC = (T / A_p) / (1/2 \times \rho \times V_r^2)$$

$$= 0.000610$$

Agar kavitasi tidak terjadi maka :

$$tC \text{ (hasil perhitungan)} < tC \text{ (burrill)}$$

$$0.000610 < 0.18 \text{ (tidak kavitasi)}$$

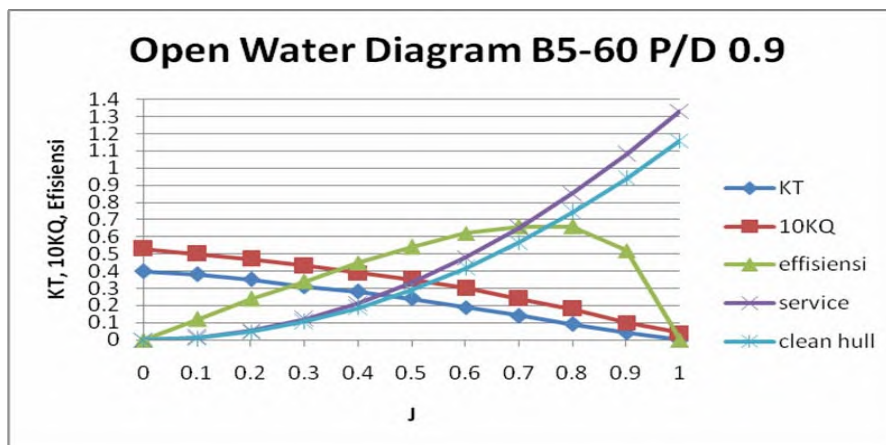
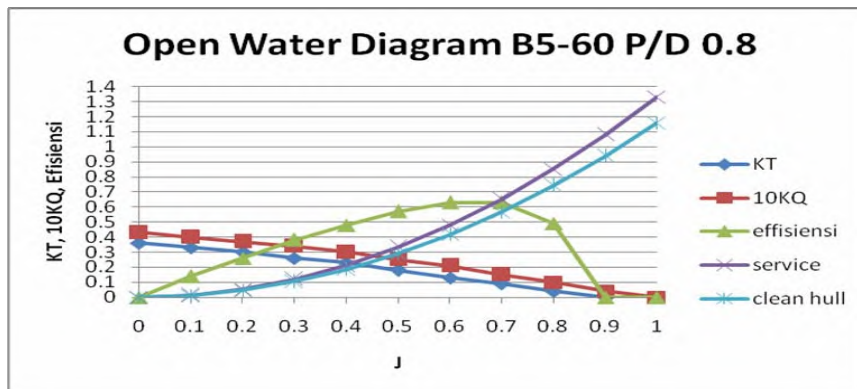
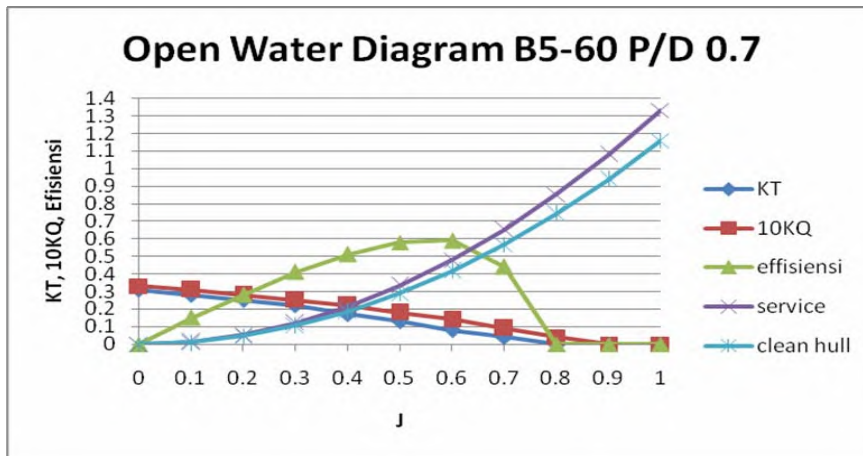
9. Perhitungan Kebutuhan Power

- Koefisien quasi propulsif

$$Q_{Pc} = \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o$$

Dimana :

η_0 = nilainya didapatkan dari KT-KQ-J Diagram Propeller (*diambil efisiensi tertinggi*) sebagai berikut :



Gambar 4.4 Open Water Diagram (P/D 0,7 s/d 0,9)

Dari perpotongan grafik open water dan diagram KT-J diperoleh data :

P/D	service			clean hull		
	J	10KQ	η_o	J	10KQ	η_o
0.7	0.48	0.19	0.56	0.49	0.18	0.58
0.8	0.53	0.24	0.57	0.54	0.23	0.59
0.9	0.58	0.31	0.59	0.6	0.3	0.61

Tabel 4.7 Open Water dan diagram KT- J

Putaran Propeller

Dengan menggunakan persamaan berikut maka putaran dapat dicari :

$$J = V_a / nD$$

P/D	service		n (rps)	n (rpm)
	J	η_o		
0.7	0.38	0.48	4.529427	271.7656
0.8	0.42	0.49	4.098053	245.8832
0.9	0.48	0.5	3.585797	215.1478

P/D	clean hull		n (rps)	n (rpm)
	J	η_o		
0.7	0.41	0.5	4.198006	251.8804
0.8	0.45	0.51	3.82485	229.491
0.9	0.49	0.53	3.512617	210.757

Tabel 4.8 hasil perhitungan P/D, J dan putaran (rpm)

Maka didapatkan nilai η_o sebesar 0.5. Dan didapatkan pula nilai Q_{Pc} , sebesar :

$$\begin{aligned} Q_{Pc} &= \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o \\ &= 0.5252 \end{aligned}$$

- Thrust horse power (THP)

$$\begin{aligned} THP &= EHP / \eta_H \\ &= 1692.46 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Delivery horse power (DHP)

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= \text{EHP} / \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o \\ &= 3604.072 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Shaft horse power (SHP)

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= \text{DHP} / \eta_S \\ &= 3640.477 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Brake horse power (BHP)

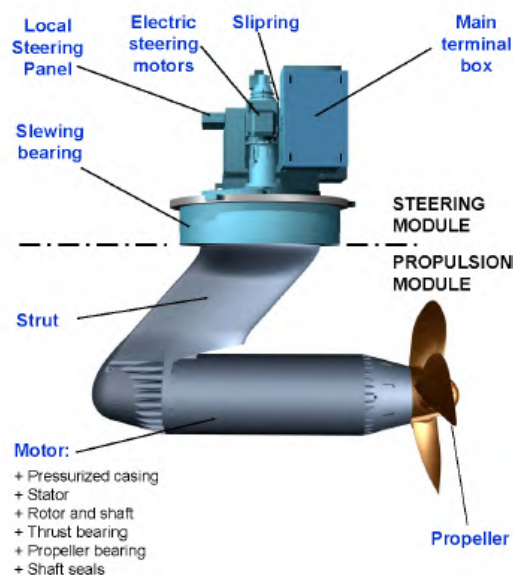
$$\begin{aligned} \text{BHP}_{\text{SCR}} &= \text{SHP} / \eta_m \\ &= 3677.25 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{BHP}_{\text{MCR}} = \text{BHP}_{\text{scr}} / 85\%$$

$$= 4326.176 \text{ kW (5881.952 HP)}$$

4.5 COMPACT AZIPOD

Compact azipod adalah produk propulsor yang mendukung sistem DEP yang pada saat ini didukung oleh ABB-Marine US. Pada compact Azipod, seperti terlihat pada gambar, motor listrik yang berfungsi untuk mentransmisi dan mendistribusikan energi listrik menjadi energi mekanik, sudah menjadi satu dengan propeler dalam bentuk compact.



Gambar 4.5 Compact Azipod

www.abb.com/marine

(Doc No. 3AFV6014005 rev. A / 24.10.2008, page 5)

Compact Azipod merupakan podded propulsion system, dengan sudut putar yang tak terbatas ($n \times 360^0$). Dilengkapi motor sinkron dengan permanen magnet dan fixed pitch-propeler, yang disambung langsung dengan poros motor. Motor listrik dikontrol dengan frekuensi tegangan rendah. Daya Compact Azipod berkisar antara 0.5 MW sampai 4.0 MW. Compact Azipod digolongkan menjadi 6 unit size. Kebutuhan propulsion power dapat dihasilkan secara akurat dengan memilih ukuran dan rpm propeler yang optimal sesuai dengan kondisi hidrodinamik daerah berlayar.

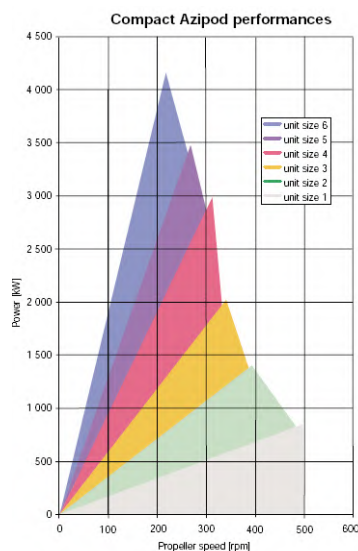
Penggunaan permanen magnet teknologi mengeliminasi instalasi exciter , sehingga menghasilkan motor yang lebih pendek.

Dengan pendinginan air laut secara langsung mampu mengurangi diameter motor, sehingga menghasilkan ukuran motor dan pod yang compact dengan bentuk yang lebih langsing dan hidrodinamik yang lebih baik. Lebih jauh lagi, tanpa penggunaan exciter dan direct cooling dapat mengurangi losses sehingga menghasilkan efisiensi listrik yang lebih baik.

Compact azipod dibuat dengan standart modul “ plug and play “ yang tinggi untuk instalasi yang cepat . Sistem ini terdiri dari 2 modul yaitu steering modul dan propulsion. Motor listrik digerakan oleh ACS 600 DTC (Direct Torque Control) variable speed drive. Drive ini adalah sistem tegangan rendah (690 V) yang sangat miudah untuk dioperasikan dan telah terbukti keandalannya. Drive ini memberikan full nominal torque, pada kedua arah pada semua daerah kecepatan yang dipakai.

Steering pada compact azipod menggunakan 2 buah electrical steering motor, yang dikontrol oleh variable speed drive. Sistem steering elektrik ini mengeliminasi penggunaan motor hidrolis maupun perpipaan.

Dari katalog Compact Azipod Produksi ABB Marine US didapat data sebagai berikut :



Gambar 4.6 Compact Azipod performances

	Compact Azipod unit sizes						Nomination
	1	2	3	4	5	6	
D1 [mm]	729	910	1040	1165	1310	1470	Motor outer diameter
D2 [mm]	1350-1700	1700-2200	1900-2600	2200-3100	2400-3500	2700-4000	Propeller diameter min-max
D3 [mm]	2302	1700	2285	2285	2990	2990	Assembly block outer diameter
L1 [mm]	1235	1235	1060	1060	900	900	Slipping boundary distance
L3 [mm]	3949*	4181	4546	5090	5690	6186	Length of Azipod unit
H1 [mm]	1300	1645	1950	2325	2625	3005	Assembly block height to the connection flange lower surface
H2 [mm]	495*	355	495	495	650	650	Height from motor module to the assembly block shoulder
H3 [mm]	1635*	1517	1740	1740	1863	1863	Height from connection flange lower surface to the top of the steering module
R [mm]	2526	2526	2796	2982	3191	3443	Minimum distance to next propulsor or vessel side (absolute dimension+300mm)
M [ton]	15,5*	16	27	35	50	60	total mass of complete Azipod unit
V [m.]	1,3	2,45	3,55	5	7,25	10,5	Displacement of propulsor (buoyance of propulsor)

* ice strengthened unit

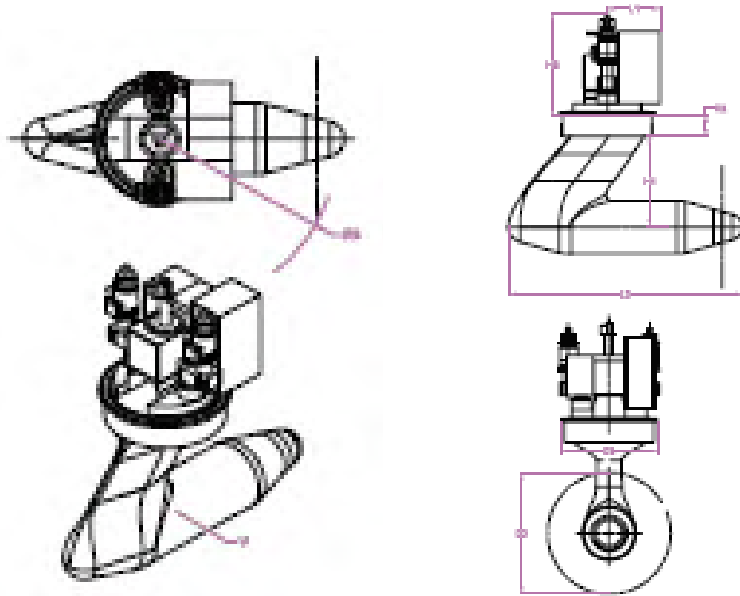
Tabel 4.9 Spesifikasi Dimensi Azipod (unit size 1 – 6)

www.abb.com/marine

(Doc No.3BFV000267R01 REV E © 2004, page 1.2)

Dari hasil perhitungan didapatkan EHP kapal sebesar 1892.858 kW dengan putaran propeller 215.1478 rpm . Untuk menghasilkan thrust yang minimal sama dengan system sebelumnya maka daya compact azipod > EHP kapal. Dengan menggunakan compact azipod performance diagram tersebut di atas, maka dipilih compact azipod unit size 4 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Unit Size : 4
 Power Max. : 2900 kW / 310 rpm
 RPM Max : 330 rpm / 1900 kW
 Power EHP_{MCR} : 1892,858 kW / 215,147 rpm
 η / Suplai Daya : > 0.98 % / 1931.487 kW



Gambar 4.7 Compact Azipod dimension

Symbol	Description	Size (mm)
D1	motor outer diameter	1615
D2	propeller diameter min - max	3000
D3	assembly block outer diameter	2285
L1	slipring boundary distance	1060
L3	length of azipod unit	5090
H1	assembly height to the connection flange lower surface	2325
H2	heigth from motor module to the assembly block shoulder	495
H3	height from connection flange lower surface to the top of steering module	1740
R	minimum distance to the next propulsor or vessel side (absolute dimension + 300 mm)	2928
M	Total mass of compact azipod unit	35
V	Displacement of proplsor/bouyance of propulsor	5

Tabel 4.10 Spesifikasi Dimensi Azipod (unit size 4)

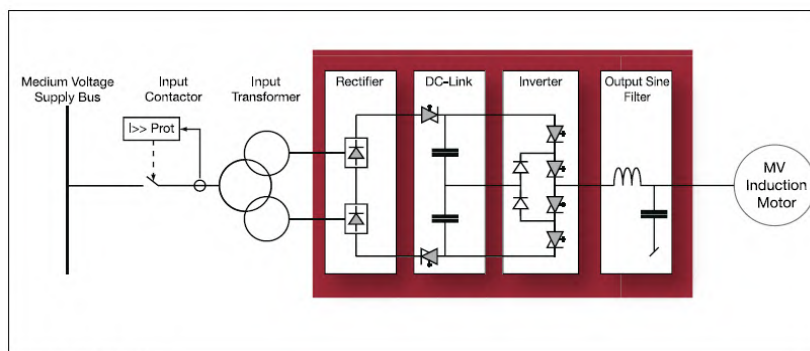
www.abb.com/marine

(Doc No.3BFV000267R01 REV E © 2004, page 1.2)

4.6. FREQUENCY CONVERTER

Dari penggunaan compact azipod unit 4 dengan spesifikasi power maximal 2900 kW / 310 rpm dan pada RPM maksimal 330 rpm / 1900 kW. Dipilih frekuensi converter yang diproduksi oleh ABB Marine US dalam penggunaan diesel electric propulsion dengan compact azipod , yaitu ACS 600 Marine drive , dengan spesifikasi sebagai berikut :

Model	:	ACS 600 Marine drive / single
Power range	:	75 s/d 2500 kW
Power	:	2400 kVA
Current	:	420 A
Length	:	713 mm
Weight	:	3300 kg
Input Power Factor		
• Fundamental	:	0.97 %
• Total	:	0.96 %



Typical ACS 1000 diagram

Gambar 4.7 Frequency Converter diagram

4.7. PERHITUNGAN INSTALASI LISTRIK

Perhitungan daya listrik adalah mencakup kebutuhan daya listrik untuk equipment hull termasuk compact azipod , machinery part, dan electrical part . Perhitungan daya listrik ditinjau pada kondisi operasional KRI Makassar 590. Sehingga besarnya kebutuhan listrik setelah adanya penambahan compact azipod adalah :

DESCRIPTION	DEMAND FACTOR & POWER CONSUMPTION		
	NORMAL SERVICE	DEP. & ARRIVAL	HARBOUR SERVICE
CONTINUOUS LOAD POWER REQUIRED (KW)	2755.5	1619.9	1162.2
INTERMITTENT LOAD POWER TOTAL (KW)	305.8	301.0	342.9
DIVERSITY FACTOR	2.0	2.0	2.0
INTERMITTENT LOAD POWER REQUIRED (KW)	152.9	150.5	171.5
TOTAL POWER REQUIRED (KW)	2908.4	1770.4	1333.7

Catt : detail perhitungan dapat dilihat di lampiran.

Tabel 4.11 total kebutuhan listrik setelah adanya penambahan azipod

4.7.1. Pemilihan Generator set

Dari perhitungan daya listrik akan ditemukan pemilihan dan instalasi dari generator set . Pada pemilihan dan instalasi ini , harus memenuhi aturan klasifikasi , bahwa load factor generator set maksimum tidak boleh melebihi 86 % . Berikut dipilih 5 jenis generator set sebagai perbandingan :

No.	Type	Hz	Kw	Price (US \$)	Set	Faktor beban Generator				
						Normal Service	Set	Dep & Arrival	Set	Harbour service
1	Detroit Diesel MTU C Series	60	2000	381,960.00	2	$\frac{2908.40}{2000 \times 2} = 72.7$	2	$\frac{1770.40}{2000 \times 1} = 88.5$	1	$\frac{1337.50}{2000 \times 1} = 66.9$
2	Detroit Diesel MTU C Series	60	2250	420,055.20	2	$\frac{2908.40}{2250 \times 2} = 64.6$	1	$\frac{1770.40}{2250 \times 1} = 78.7$	1	$\frac{1337.50}{2250 \times 1} = 59.4$
3	Detroit Diesel MTU C Series	60	2500	609,994.80	2	$\frac{2908.40}{2500 \times 2} = 58.2$	2	$\frac{1770.40}{2500 \times 1} = 70.8$	1	$\frac{1337.50}{2500 \times 1} = 53.5$
4	KOHLER	60	2800	777,570.20	2	$\frac{2908.40}{2800 \times 2} = 51.9$	2	$\frac{1770.40}{2800 \times 1} = 63.2$	1	$\frac{1337.50}{2800 \times 1} = 47.8$
5	Broadcrown	60	2000	460,161.60	2	$\frac{2908.40}{2000 \times 2} = 72.7$	2	$\frac{1770.40}{2000 \times 1} = 84.5$	1	$\frac{1337.50}{2000 \times 1} = 66.9$

Tabel 4.12 Pemilihan generator

Sehingga didapatkan generator dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk	:	Broadcrown
Type	:	BCC1825P-60T2
Frequency	:	60 Hz / 440 V
Rpm	:	1800 (3Φ)
kW	:	2000 kW
Price	:	\$ 460,161.60

Sedangkan kebutuhan kapal pada saat emergency (*perhitungan pada tabel terlampir*) sebesar 2265,4 kW (*at blackout @81 %*) dan 2225,8 kW (*at fire @79%*). Sehingga didapatkan generator dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk	:	Detroit Diesel MTU
Type	:	2800-XC6DT2-3
Frequency	:	60 Hz / 400 V
Rpm	:	1800 (3Φ)
kW	:	2800 kW
Price	:	\$ 710,535.60

Perhitungan jika salah satu generator utama mati adalah sebagai berikut :

Total kebutuhan listrik (2 Azipod)	=	2908,4 kW
Total kebutuhan emergency (1 Azipod)	=	2265,4 kW
Total kebutuhan 1 Azipod	=	1931,5 kW

Pada saat salah satu generator mati maka, emergency generator harus tetap dapat menyuplai daya ke 1 azipod dan beberapa instalasi lain (*pada tabel*), dimana azipod lainnya akan disuplai dari main generator yang masih berfungsi.

Sehingga kebutuhan daya yang harus disuplai pada saat salah satu generator tidak berfungsi adalah :

$$\begin{aligned} &= \text{total kebutuhan (listrik – 1 azipod)} + \text{total kebutuhan emerg.} \\ &= 2908,4 \text{ kW} - 1931,5 \text{ kW} + 2265,4 \text{ kW} \\ &= 3242,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Load Factor Generator :

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Total kebutuhan listrik (saat 1 tidak aktif)}}{\text{Daya generator x jumlah generator (yg hidup)}} \\ &= \frac{3242,3}{(2000 \times 1) + (2800 \times 1)} \\ &= 67,54 \% \end{aligned}$$

load factor generator set maksimum tidak boleh melebihi 86 %, dan dari perhitungan di dapatkan 67,54 % sehingga aman untuk digunakan. Sedangkan untuk pengaturan arus dan tegangan akan diatur oleh synchronoscope (*lihat wiring diagram*)

4.7.2. Distribution Board & Transformer

4.7.2.1. Transformer

Berikut ini adalah beberapa jenis komponen yang menggunakan tegangan sebesar 440 V, diantaranya :

1. Fan Component (*terlampir*)
2. Engine Room Auxilliary Machinery (*terlampir*)

Mengingat kebutuhan Tegangan dari 2 jenis komponen di atas sama dengan tegangan yg dihasilkan oleh generator (440 V) maka dalam perencanaan ini tidak dibutuhkan transformator baik step up maupun step down.

Sedangkan jenis komponen yang menggunakan transformator Step up adalah sebagai berikut :

1. Compact (frekuensi converter)

Dalam perencanaan ini akan digunakan jenis transformator Step Up untuk menaikkan tegangan dari 440 V menjadi 690 V. Dari pasaran didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Power Transformer
- Type : (TP) 2B31
- Primary : 380 / 430 / 480 V
- Secondary : up to 7200 V
- Price : \$ 2,500.00

2. Bow Thruster Motor

Dalam perencanaan ini tidak digunakan transformator baik step up maupun step down dikarenakan tegangan yang dibutuhkan oleh Motor untuk bow thruster adalah sama dengan tegangan yang dihasilkan oleh generator.

4.7.2.2 Distribusi Daya

Suplai daya dari generator set akan didistribusikan oleh MSB ke beberapa junction dengan perhitungan dan wiring diagram (*terlampir*) sebagai berikut :

A. Penarikan kabel pada generator set

- Spesifikasi generator :

- Merk : Broadcrown
- Type : BCC1825P-60T2
- Frequency : 60 Hz / 440 V
- Rpm : 1800 (3 Φ)
- kW : 2000 kW
- Price : \$ 460,161.60

- Penentuan arus nominal (I_{nom})

$$\begin{aligned} I_{nom} &= P_{per\ genset} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 2000000 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 3.280,399 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus nominal, maka dari tabel 630-1 diperoleh penampang kabel, pengaman dan saklaR sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pengaman} &= 3300 \text{ A} \\ \text{Penampang} &= 3300 \text{ mm}^2 \\ \text{Saklar} &= 3300 \text{ A} \end{aligned}$$

B. Penentuan dimensi busbar pada MSB

- Arus 3 phase yang melalui busbar pada MSB berasal dari penjumlahan daya yang diberikan oleh genset (P_{tot}) yang beroperasi sehingga P_{tot} secara keseluruhan sebesar :

$$\begin{aligned} P_{\text{tot}} &= 2 \times 2.000.000 \\ &= 4.000.000 \text{ W} \\ &= 4.000 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Arus Nominal yang terjadi (I_{nom})

$$\begin{aligned} I_{\text{nom}} &= P_{\text{tot}} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 4.000.000 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 6.560,799 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus nominal, maka dari tabel 630-1 diperoleh penampang kabel, pengaman dan saklar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pengaman} &= 6600 \text{ A} \\ \text{Penampang} &= 6600 \text{ mm}^2 \\ \text{Saklar} &= 6600 \text{ A} \end{aligned}$$

- Besar arus untuk distribution Busbar sebesar :

$$\begin{aligned} &= 4 \times I_{\text{nom.}}, \text{ dimana } I_{\text{nom}} : 6.560,799 \text{ A} \\ &= 4 \times 6.560,799 \\ &= 26.243,19 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan busbar untuk MSB adalah 4 x 27.000 A.

C. Distribusi daya ke compact azipod

Berdasarkan perhitungan didapatkan suplai daya compact azipod yaitu sebesar 1892.858 kW.

- Sehingga besarnya arus nominal (I_{nom}) adalah :

$$\begin{aligned} I_{nom} &= P_{azipod} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 1892858 / (3^{0.5} \times 690 \times 0.8) \\ &= 1.979,786 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus nominal, maka dari tabel 630-1 diperoleh penampang kabel, pengaman dan saklar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pengaman} &= 2000 \text{ A} \\ \text{Penampang} &= 2000 \text{ mm}^2 \\ \text{Saklar} &= 2000 \text{ A} \end{aligned}$$

D. Distribusi daya ke Bow Thruster Motor

Berdasarkan data yang ada didapatkan suplai daya Bow Thruster yaitu sebesar 745 kW.

- Sehingga besarnya arus nominal (I_{nom}) adalah :

$$\begin{aligned} I_{nom} &= P_{bow\ thruster} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 745000 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 1.221,949 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus nominal, maka dari tabel 630-1 diperoleh penampang kabel, pengaman dan saklar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pengaman} &= 1300 \text{ A} \\ \text{Penampang} &= 1300 \text{ mm}^2 \\ \text{Saklar} &= 1300 \text{ A} \end{aligned}$$

4.7.2.3. Perhitungan Busbar untuk tiap Junction

- Junction 1 (Engine Room Auxilliary Machinery)

Dari perhitungan didapatkan daya tiap phase terbesar adalah :
130,92 kW, sehingga :

$$\begin{aligned} I_{\text{nom}} &= P_{(\text{per phase terbesar})} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 130920 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 214,7349 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus untuk pemilihan busbar} &= 4 \times I_{\text{nom}} \\ &= 4 \times 214,7349 \text{ A} \\ &= 858.9396 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel Busbar (terlampir) didapatkan busbar 4 (2 (40 x 5)

- Junction 2 (Accomodation on deck)

Dari perhitungan didapatkan daya tiap phase terbesar adalah :
160,460 kW, sehingga :

$$\begin{aligned} I_{\text{nom}} &= P_{(\text{per phase terbesar})} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 160460 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 263,1864 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus untuk pemilihan busbar} &= 4 \times I_{\text{nom}} \\ &= 4 \times 263,1864 \text{ A} \\ &= 1.052,75 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel Busbar (terlampir) didapatkan busbar 4 (1 (50 x 10)

- Junction 3 (Fan)

Dari perhitungan didapatkan daya tiap phase terbesar adalah :

13,600 kW, sehingga :

$$\begin{aligned} I_{\text{nom}} &= P_{(\text{per phase terbesar})} / (3^{0.5} \times V \times \cos\phi) \\ &= 13600 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 22,30 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arus untuk pemilihan busbar} &= 4 \times I_{\text{nom}} \\ &= 4 \times 22,30 \text{ A} \\ &= 89,22 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel Busbar (terlampir) didapatkan busbar 4 (1 (12 x 2)

4.7.2.4 Penarikan Kabel Pada shore Connection

Daya yang disuplai oleh pelabuhan melalui shore connection (P_{SC}) adalah sebesar 115 % dari daya yang dibutuhkan untuk cargo operation (P_{CO}).

$$\begin{aligned} P_{\text{SC}} &= P_{\text{CO}} \times 115 \% \\ &= 1333,7 \times 115 \% \\ &= 1533.755 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Penentuan arus nominal (} I_{\text{nom}} \text{)} \\ I_{\text{nom}} &= P_{\text{SC}} / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 1533755 / (3^{0.5} \times 440 \times 0.8) \\ &= 2515,644 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus nominal, maka dari tabel 630-1 diperoleh penampang kabel, pengaman dan saklar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pengaman} &= 2600 \text{ A} \\ \text{Penampang} &= 2600 \text{ mm}^2 \\ \text{Saklar} &= 2600 \text{ A} \end{aligned}$$

4.8 PERHITUNGAN EKONOMIS SYSTEM

Perhitungan ekonomis dari system – system ini lebih banyak berdasarkan pada harga dari masing – masing komponen, dan juga lamanya waktu hidup dari masing – masing proyek (lifetime).

Untuk memudahkan analisis kelayakan ekonomi. Biaya – biaya tersebut nantinya akan dikelompokkan menjadi beberapa komponen. Dimana semua biaya tersebut akan dikelompokkan menjadi dua , yaitu biaya modal (capital cost) dan biaya tahunan (annual cost) . Karena biaya tahunan dari semua system ini meningkat terus (tidak konstan) , maka dalam perbandingan ini uang dipakai adalah nilai present value dari masing – masing system.

Dalam perhitungan ekonomis dari masing – masing system ini diasumsikan tidak mengalami laju inflasi.

4.8.1 Untuk Diesel Mechanical Propulsion

Biaya modal :

Dalam perhitungan ini harga – harga dari masing – masing komponen sebagai berikut :

No.	Item	Set	Harga per unit (\$)	Harga total (\$)
1	Main Engine 3000 HP/ @775 rpm	2	568965.5172	1137931.034
2	Main Generator	3	352713.05	1058139.15
3	Emergency generator	1	352713.05	352713.05
4	Gearbox	2	8556.4	17112.8
5	Stern tube	2	1190	2380
6	OPP	2	23172.41379	46344.82758
			Total	2614620.862

Tabel 4.13 Daftar harga komponen DMP

Catt : Harga di atas sudah termasuk PPnBM dan biaya pengiriman

([Source](#) : *ELECTRIC PARTICULAR SHEET*, Power Equipment KRI Makassar, by DAE SUN SHIPBUILDING & ENGINEERING, BUSAN KOREA. 22/01/2007)

Selain itu juga diketahui hal – hal sebagai berikut :

- Umur proyek : 20 tahun
- Biaya kemungkinan tak terduga : 10%
- Biaya teknik : 8 %
- Bunga : 10 %

Dengan ketentuan tersebut di atas , maka dapat dihitung besarnya biaya modal dari proyek tersebut , yaitu :

$$\text{Biaya modal} = [A] + [B] + [C]$$

Dimana :

$$\begin{aligned} [A] &= \text{biaya langsung} \\ &= \$ 2.614.620,862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [B] &= \text{biaya tak terduga} \\ &= 10 \% \text{ biaya langsung} \\ &= 10 \% \times 2.614.620,862 \\ &= \$ 261.462,0862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [C] &= \text{biaya teknik} \\ &= 8 \% \text{ biaya langsung} \\ &= 8 \% \times 2.614.620,862 \\ &= \$ 209169,669 \end{aligned}$$

Jadi besarnya biaya modal adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Modal} &= 2.614.620,862 + 261.462,0862 + 209169,669 \\ &= \$ 3.085.252,617 \end{aligned}$$

Biaya tahunan : $(P/F, I , n) \times$ besarnya biaya O dan P

Dimana :

$(P/F, I , n) =$ present worth factor (*lihat table*)

$i = 10\%$ Discrete Compounding, Discrete Cash Flows

	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				Arithmetic Gradient Series Factor
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Uniform Series Factor	Capital Recovery Factor	Series Present Worth Factor	
N	$(F/P, i, N)$	$(P/F, i, N)$	$(A/F, i, N)$	$(F/A, i, N)$	$(A/P, i, N)$	$(P/A, i, N)$	$(A/G, i, N)$
1	1.1000	0.90909	1.0000	1.0000	1.1000	0.90909	0.00000
2	1.2100	0.82645	0.47619	2.1000	0.57619	1.7355	0.47619
3	1.3310	0.75131	0.30211	3.3100	0.40211	2.4869	0.93656
4	1.4641	0.68301	0.21547	4.6410	0.31547	3.1699	1.3812
5	1.6105	0.62092	0.16380	6.1051	0.26380	3.7908	1.8101
6	1.7716	0.56447	0.12961	7.7156	0.22961	4.3553	2.2236
7	1.9487	0.51316	0.10541	9.4872	0.20541	4.8684	2.6216
8	2.1436	0.46651	0.08744	11.436	0.18744	5.3349	3.0045
9	2.3579	0.42410	0.07364	13.579	0.17364	5.7590	3.3724
10	2.5937	0.38554	0.06275	15.937	0.16275	6.1446	3.7255
11	2.8531	0.35049	0.05396	18.531	0.15396	6.4951	4.0641
12	3.1384	0.31863	0.04676	21.384	0.14676	6.8137	4.3884
13	3.4523	0.28966	0.04078	24.523	0.14078	7.1034	4.6988
14	3.7975	0.26333	0.03575	27.975	0.13575	7.3667	4.9955
15	4.1772	0.23939	0.03147	31.772	0.13147	7.6061	5.2789
16	4.5950	0.21763	0.02782	35.950	0.12782	7.8237	5.5493
17	5.0543	0.19784	0.02466	40.545	0.12466	8.0216	5.8071
18	5.5599	0.17986	0.02193	45.599	0.12193	8.2014	6.0526
19	6.1159	0.16351	0.01955	51.159	0.11955	8.3649	6.2861
20	6.7275	0.14864	0.01746	57.275	0.11746	8.5136	6.5081

Sedangkan untuk besarnya biaya operasi dan pemeliharaan (O & P) untuk tahun pertama adalah :

No.	Component	kW	set	SFOC	SFOC	SFOC	SFOC	Load Factor	SFOC	Price Fuel / yr
	DMP			(g/kWh)	(g/h)	(liter/h)	(KL/h)		(KL/yr)	(USD/ yr)
1	Main Engine	2207	2	358	790106	797.281534	0.79728153	0.25	1746.046559	611465.505
2	Genset	500	3	322.5	-	322.5	0.3225	0.25	706.275	262437.6645
3	Emerg. Genset	400	1	83.3	-	83.3	0.0833	0.125	91.2135	33893.11233
	Total DMP									907796.2818

Tabel 4.14 Kebutuhan Fuel Oil dalam satu tahun (DMP)

Catt :

Price HFO / KL = 350,20 USD

MDO / KL = 371,58 USD

1 litre HFO = 0,991 kg

Source : perkembangan harga BBM tahun 2009 (15 Feb'09)

(www.pertamina.com/indexhargaminyak2009)

Sedangkan untuk tahun berikutnya biaya O&P mengalami kenaikan, sebesar :

Biaya Tahunan : $(F/P, I , n) \times$ besarnya biaya O dan P

Dimana :

$(F/P, I , n) =$ present value factor (*lihat table*)

Sehingga didapatkan estimasi biaya seperti pada table, dimana setiap 4 tahun sekali akan diadakan docking.

Besarnya biaya maintenance

(biaya docking untuk 4 tahun sekali) = \$ 1.851,038

4.8.2 Untuk Diesel Electric Propulsion

Biaya modal :

Dalam perhitungan ini harga – harga dari masing – masing komponen sebagai berikut :

No.	Item	Set	Merk type	Harga per unit (USD)	Harga total (USD)	Source
1	Main Generator	2	Broadcrown	460160.6	920321.2	www.Generator.be.com
2	Emergency Generator	1	Detroit Diesel MTU	710535.6	710535.6	www.Generator.be.com
3	Transformator step up	2	Power Transformer	2500	5000	www.SurplusSales.com
4	Frekuensi Converter	2	ACS600 Marine Drive	3853294.582	7706589.163	www.ABB.com/marine/electricpropulsion (Juha Sppola Mail)
5	Compact Azippod	2	ABB Product / CA6PULL			
6	Amperemeter	4	METERS	2000	8000	www.Tradekey.com
7	Voltmeter	4				
8	Frequencymeter	4				
9	Synchronoscope	1				
10	Busbar (kg)	100	CCA Busbar	11.5 / kg	1150	www.sinocatechnology.itrademarket.com
11	Air Circuit Breaker	3	ABB S203 series	52.8	158.4	www.midwestequipment.com/circuit-breaker
Total					9351754.363	

Tabel 4.15 Daftar harga komponen DEP

Catt : harga di atas belum termasuk PPnBM dan biaya pengiriman

- Umur proyek : 20 tahun
- Biaya kemungkinan tak terduga : 10%
- Biaya teknik : 8 %
- Bunga : 10 %

Dengan ketentuan tersebut di atas , maka dapat dihitung besarnya biaya modal setelah terdapat penambahan PPnBM dan biaya pengiriman sebesar 14 % dari harga total beberapa komponen , yaitu :

$$\text{Biaya modal} = [A + (10 \% A)] + [B] + [C]$$

Dimana :

$$\begin{aligned} [A] &= \text{biaya langsung} \\ &= \$ 10.660.999,973 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [B] &= \text{biaya tak terduga} \\ &= 10 \% \text{ biaya langsung} \\ &= 10 \% \times 10.660.999,973 \\ &= \$ 1.066.099.997 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [C] &= \text{biaya teknik} \\ &= 8 \% \text{ biaya langsung} \\ &= 8 \% \times 10.660.999,973 \\ &= \$ 852.879,997 \end{aligned}$$

Jadi besarnya biaya modal adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Modal} &= 10.660.999,973 + 1.066.099.997 + 852.879,997 \\ &= \$ 12.579.979.967 \end{aligned}$$

Biaya tahunan : $(P/F, I , n) \times$ besarnya biaya O dan P

Dimana :

$(P/F, I , n) =$ present worth factor (lihat table)

Sedangkan untuk besarnya biaya operasi dan pemeliharaan (O & P) untuk tahun pertama adalah :

No.	Component	kW	set	SFOC	SFOC	SFOC	SFOC	Load Factor	SFOC	Price Fuel / yr
	DEP			(lt / hour)	(g/h)	(liter/h)	(KL/h)		(KL/yr)	(USD / yr)
1	Genset	2000	2	770	-	770	0.77	0.25	1686.3	626595.354
2	Emerg. Genset	2800	1	148	-	148	0.148	0.125	162.06	60218.2548
	Total DEP									686813.6088

Tabel 4.16 Kebutuhan Fuel Oil dalam satu tahun (DEP)

Catt :

$$\text{Price HFO / KL} = 350,20 \text{ USD}$$

MDO / KL = 371,58 USD

1 litre HFO = 0,991 kg

Source : perkembangan harga BBM tahun 2009 (15 Feb'09)

(www.pertamina.com/indexhargaminyak2009)

Sedangkan untuk tahun berikutnya biaya O&P mengalami kenaikan, sebesar :

Biaya Tahunan : (F/P, I , n) x besarnya biaya O dan P

Dimana :

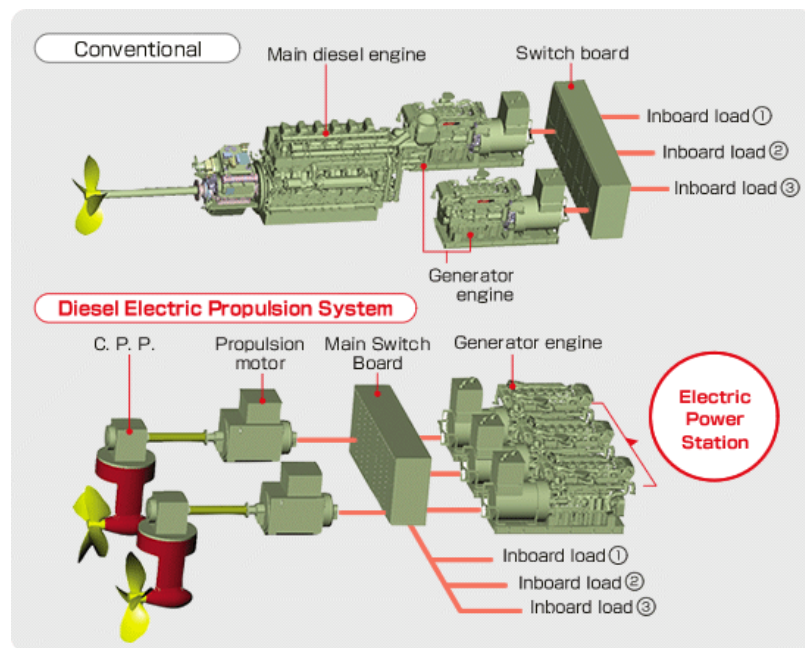
(F/P, I , n) = present value factor (*lihat table*)

Sehingga didapatkan estimasi biaya seperti pada table, dimana setiap 4 tahun sekali akan diadakan docking.

(biaya docking untuk 4 tahun sekali) = \$ 1.851,038

4.9 PEMBAHASAN DARI SEGI TEKNO EKONOMI

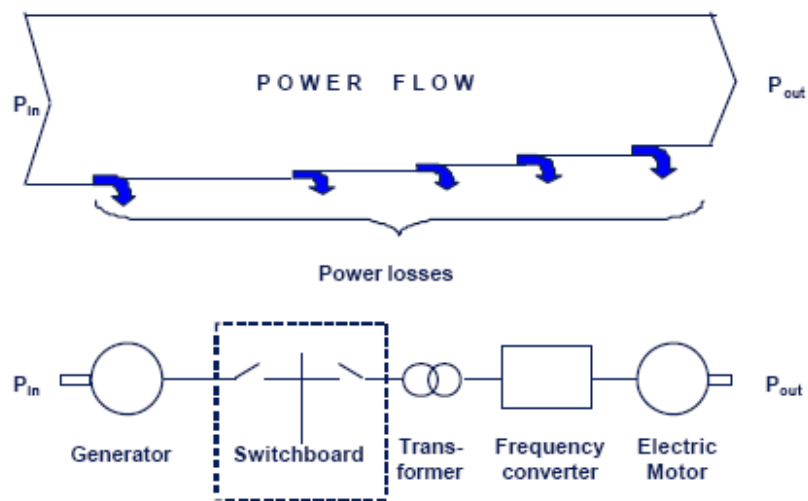
Dengan penerapan DEPP pada kapal LPD ini, maka berdasarkan penelitian dan penerapan yang sudah dilakukan yang antara lain oleh Asean Brown Boveri, Scandinavian System (SES) dan Ecoship Project, pada dasarnya menyatakan bahwa pada awalnya biaya investasi yang diperlukan lebih tinggi dari pada dengan menggunakan DMP. Namun pada akhirnya secara ekonomis tinjauan total dari biaya investasi , operasional dan maintenance akan lebih menguntungkan. Berikut tinjauan teknis dan ekonomis dari system DEPP.



Gambar 4.8 Instalasi DMP dan DEP
(sumber Adnanes : 2003. hal 07.)

4.9.1 Power Flow & Efficiency

Pada kapal dengan power flow dan power efficiency akan dipengaruhi oleh beberapa sistem distribusi termasuk distribusi dari transformer dan variable speed drive, yang menurut adnanes 2003 dapat diilustrasikan pada diagram berikut :



Gambar 4.9 Power Flow in a simplified electric power system
(sumber Adnanes : 2003. hal 07.)

Losses daya komponen dari poros mesin diesel ke poros motor listrik adalah losses mekanik dan losses listrik yang menyebabkan naiknya panas dan suhu pada komponen dan lingkungan sekitar.

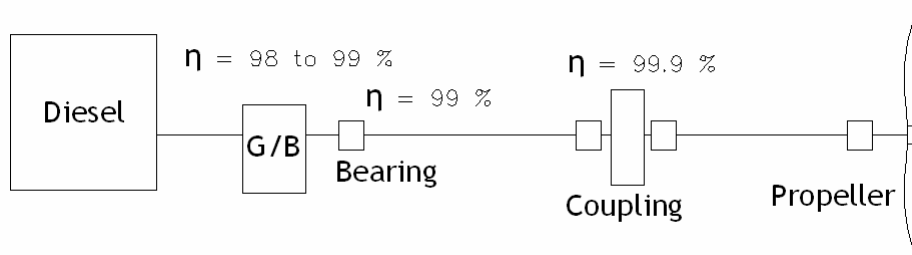
Untuk setiap komponen ,effisiensi listrik dapat dihitung dan typical valuenya pada full rated power menurut spesifikasi dari tiap komponen (terlampir) adalah sebagai berikut :

- η Generator : 0.95 – 0.97
- η switchboard : 0.999
- η Transformer : 0.990 – 0.9995
- η Frequency converter : 0.98 – 0.99

η Compact Azipod: 0.95 – 0.97

Dengan demikian, efisiensi dari system DEP, dari poros ke mesin diesel, ke poros electric propulsion motor, adalah diantara 88% - 90 % pada kondisi beban penuh.

Sedangkan losses kapal dengan menerapkan system mechanical propulsion adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Instalasi DMP
(sumber Adnanes : 2003. hal 07.)

Dimana besarnya losses tersebut adalah sebagai berikut di bawah ini :

Source	Item	Loss Values
SNAME T&R Bulletin 3 - 27 Marine Diesel	Thrust Bearing	0.50%
	Single Red. Gear	1.50%
	Double Red. Gear	2.50%
PNA Chapter 7	eff.B x eff.S x Mach. After	2.00%
	eff.B x eff.S x Mach. Amidship	3.00%
Marine Engineering Chapter 9	Double reduction gear	1.5 - 2.0 % loss

Tabel 4.17 Losses Value

Sehingga berdasarkan tabel di atas estimasi losses yang terjadi pada kapal dengan mesin di tengah (Machinery Amidship) adalah ;

$$3\% + 1.5 \% = 4.5 \%$$

Sehingga estimasi daya yang diterima oleh propeller

(EHP) dari Main Engine adalah sebesar 95.5%. Pada kondisi beban maksimal, besarnya efisiensi dari kapal dengan system DMP akan lebih tinggi dari pada DEPP. Namun untuk kapal Landing platform docking dengan kondisi beban operasional yang bervariasi maka DEPP akan lebih efisien dari pada DMP. Selain itu, fleksibilitas dari electrical system memungkinkan adanya pengaturan pembebanan terhadap propulsion plant untuk mencapai kondisi operasi yang lebih ekonomis dan efisien.

Berikut perbandingan load factor antara mesin diesel generator set pada DEPP dengan mesin diesel yang digunakan sebagai main engine dan auxiliary engine pada DMP.

Condition	Presentase Load pada setiap kondisi operasional		
	Normal Service	Depp. & Arrival	Harbour service
DEPP Genset (max. 86%)	72.70%	84.50%	66.90%
DMP Genset (max. 86%) Main Engine	66% 85%	84% 25%	68% 5%

Tabel 4.18 Presentase load setiap kondisi operasional

Dari table tersebut terlihat bahwa pembebanan genset pada system DEPP dan genset pada DMP cenderung konstan. Sedangkan pembebanan Main Engine pada system DMP berfluktuasi.

Hal tersebut dapat terjadi karena pembebanan 2 unit main engine pada DMP sangat tergantung dari besarnya thrust 2 propeller yang bervariasi sesuai dengan kondisi operasional kapal.

Sedangkan pada DEPP suplai daya tidak hanya untuk kebutuhan thrust tetapi juga untuk kebutuhan kelistrikan

kapal. Selain itu jumlah unit yang beroperasi dapat disesuaikan dengan kondisi pembebanan . Sehingga setiap unit genset dapat dijaga untuk beroperasi secara konstan pada kondisi optimalnya.

4.9.2 DMP & DEP Component Cost

Dari data ekonomis sistem DMP yang ada diperoleh beberapa harga dari tiap komponen, antara lain :

No.	Item	Set	Harga per unit (\$)	Harga total (\$)
1	Main Engine 3000 HP / @ 775 rpm	2	568965.5172	1137931.034
2	Main Generator	3	352713.05	1058139.15
3	Emergency generator	1	352713.05	352713.05
4	Gearbox	2	8556.4	17112.8
5	Stern tube	2	1190	2380
6	CPP	2	23172.41379	46344.82758
			Total	2.614.620,862

Sedangkan untuk harga tiap komponen dari sistem DEP adalah sebagai berikut :

No.	Item	Set	Merk type	Harga per unit (USD)	Harga total (USD)
1	Main Generator	2	Broadcrown	460160.6	920321.2
2	Emergency Generator	1	Detroit Diesel MTU	710535.6	710535.6
3	Transformator step up	2	Power Transformer	2500	5000
4	Frekuensi Converter	2	ACS 600 Marine Drive	3853294.582	7706589.163
5	Compact Azippod	2	ABB Product / CA6PULL		
6	Amperemeter	4	METERS	2000	8000
7	Voltmeter	4			
8	Frequencymeter	4			
9	Synchoscope	1			
10	Busbar (kg)	100	CCA Busbar	11.5 / kg	1150
11	Air Circuit Breaker	3	ABB S203 series	52.8	158.4
Total					9.351.754,363

Berdasarkan tabel harga komponen di atas dapat diketahui bahwa penerapan sistem Diesel Electric Propulsion jauh lebih mahal (6.737.133,501USD) dari pada sistem Mechanical Propulsion, salah

satu komponen yang paling berpengaruh pada sistem DEP adalah penggunaan dua buah Compact Azipod CA 6 PULL (ABB Product 2008) dan 2 buah Frekuensi Converter ACS 600 Marine Drive.

4.9.3 Weight and Space

Penghematan ruangan dan berat permesinan dicapai oleh electrical propulsion dalam 3 bidang utama, yaitu :

1. Individual komponen yang berukuran lebih kecil
2. Fleksibilitas penempatan dari komponen
3. Berkurangnya berat baja yang digunakan dalam konstruksi kapal.

Dalam layout penerapan DEPP diketahui bahwa space yang tersedia adalah memadai terutama untuk 2 main genset, 1 emergency genset, 2 unit compact azipod dan 2 unit ACS Marine Drive. Hal tersebut disebabkan selain karena desain LPD sudah memadai juga karena eliminasi beberapa equipment antara lain ;

1. 2 buah poros @ 30 meter,
2. Steering Gear,
3. 4 buah genset,(1 emergency genset)
4. 2 Main Engine,
5. 1 ruangan shaft room.

Sehingga akan terdapat banyak space kosong karena eliminasi dari beberapa komponen di atas yang salah satunya bisa dimanfaatkan untuk memperbesar kapasitas tangki bahan bakar , sehingga jangkauan kapal bertambah.

Sedangkan estimasi berat kapal akibat penerapan DEPP adalah :

No.	Item	Weight (kg)	
		DMP	DEPP
1	Main Engine	56800	-
2	Gearbox	2300	-
3	Shaft + Propeller	51300	-
4	Shaft alternator	14200	-
5	Steering gear	10200	-
6	Genset	38920	57196
7	Switchboard	8120	32480
8	ACS600 MD	-	6550
9	Compact azipod	-	70000
10	Transformer	-	750
total (kg)		181840	166976
selisih (kg)		14864	

Tabel 4.19 perbandingan berat sistem DMP dan DEP

Dari estimasi table perhitungan di atas menunjukkan bahwa penerapan DEP pada kapal ini adalah lebih ringan 14,864 ton dari pada DMP

4.9.4 Noise and Vibration

Pada penerapan DEPP ini akan terjadi pengurangan noise dan vibrasi yang terjadi karena :

1. Jumlah generator set yang beroperasi pada kondisi normal lebih sedikit
2. Dieliminasi Main Engine sebagai prime mover.
3. Lebih mudah memberikan redaman dan isolasi pada generator set.

4. Motor diesel lebih berputar dengan kecepatan optimum yang konstan pada berbagai kondisi operasional kapal.
5. Tidak adanya poros propeler yang panjang (30 m), bearing–bearing, dan system pelumasannya.
6. Tidak adanya reduction gear.
7. Pemakaian compact azipod dan ACS 600 Marine Drives yang mempunyai getaran baik.

4.9.5 Reliability and safety

Dengan 2 buah main generator, maka berdasarkan perhitungan kondisi pembebanan genset akan terjaga konstan dan optimal .Sehingga akan lebih aman dan life time setiap diesel akan lebih lama jika dibandingkan sistem DMP dimana Main Engine mendapatkan beban yang berfluktuasi (Normal Service 85%,Depp & Arriv. 25% dan harbour service 5%).

Condition	Presentase Load pada setiap kondisi operasional		
	Normal Service	Depp. & Arrival	Harbour service
DEPP Genset (max. 86%)	72.70%	84.50%	66.90%
DMP Genset (max. 86%) Main Engine	66% 85%	84% 25%	68% 5%

4.9.6 Konsumsi Bahan Bakar

Pada sistem DMP kapal ini menggunakan 2 main Engine Man B&W 9L dengan SFOC 179 g / kwh (at 85 % load) dan masing – masing dayanya 2207 KW. Dimana dalam satu tahun kapal ini hanya beroperasi 3 kali dengan Main Engine dan genset tetap beroperasi bersamaan serta tiap beroperasi memakan waktu kurang lebih satu bulan. Sehingga

perhitungan besarnya biaya yang harus dikeluarkan dari segi bahan bakarnya saja adalah sebagai berikut :

1. Sailing Days ME dan genset dalam satu tahun :

$$\begin{aligned} Lf &= \text{jml operasi} \times \text{lama operasi} / 12 \\ (\text{ME \& genset}) &= 3 \times 1 \text{ bulan} / 12 \text{ bulan} \\ &= 0,25 \end{aligned}$$

2. Sailing Days emergency genset (*Catt : dalam satu tahun diasumsikan total operasi 1,5 bulan*)

$$\begin{aligned} Lf &= \text{jml operasi} \times \text{lama operasi} / 12 \\ (\text{ME \& genset}) &= 1 \times 1,5 \text{ bulan} / 12 \\ &= 0,125 \end{aligned}$$

3. Kebutuhan bahan bakar 2 Main Engine selama satu jam

$$\begin{aligned} \text{SFOC} &= 2 \times 2207 \text{ kW} \times 179 \text{ g} / \text{kWh} \\ (\text{per jam}) &= 790106 \text{ gram} / \text{hour} \\ &= 790,106 \text{ kg} / \text{hour} \\ &= 797.281 \text{ liter} / \text{hour} , \text{ dimana } 1 \text{ liter} = 0,991 \text{ kg} \\ &= 0,797281 \text{ KL} / \text{hour} \end{aligned}$$

4. Jadi total kebutuhan HFO selama 1 tahun sebesar :

$$\begin{aligned} \text{SFOC} &= \text{SFOC (liter/jam)} \times 24 \times 365 \times Lf \\ &= 0,797281 \times 24 \times 365 \times 0,25 \\ &= 1746.0432 \text{ KL} / \text{tahun} \end{aligned}$$

5. Sedangkan kebutuhan bahan bakar (MDO) untuk 3 main genset selama satu tahun sebesar :

$$\begin{aligned} \text{SFOC} &= 3 \times \text{SFOC (liter/jam)} \times 24 \times 365 \times Lf \\ &= 3 \times 107,5 \times 24 \times 365 \times 0,25 \\ &= 706.275 \text{ liter} / \text{tahun} \\ &= 706,275 \text{ KL} / \text{tahun} \end{aligned}$$

6. Sedangkan kebutuhan bahan bakar (MDO) untuk emergency genset selama satu tahun sebesar :

$$\text{SFOC} = \text{SFOC (perjam)} \times 24 \times 365 \times Lf$$

$$\begin{aligned}
&= 83,3 \times 24 \times 365 \times 0,125 \\
&= 91.213,5 \text{ liter / tahun} \\
&= 91,2135 \text{ KL / tahun}
\end{aligned}$$

7. Sedangkan pada DEP, kebutuhan bahan bakar (MDO) untuk 2 main genset selama satu tahun sebesar :

$$\begin{aligned}
\text{SFOC} &= 2 \times \text{SFOC (liter/jam)} \times 24 \times 365 \times \text{Lf} \\
&= 2 \times 385 \times 24 \times 365 \times 0,25 \\
&= 1.686,300 \text{ KL / tahun}
\end{aligned}$$

8. Sedangkan kebutuhan bahan bakar (MDO) untuk emergency genset selama satu tahun sebesar :

$$\begin{aligned}
\text{SFOC} &= \text{SFOC (liter/jam)} \times 24 \times 365 \times \text{Lf} \\
&= 148 \times 24 \times 365 \times 0,125 \\
&= 162,060 \text{KL / tahun}
\end{aligned}$$

Dengan langkah yang sama seperti cara di atas didapatkan total SFOC untuk penerapan Diesel Electric Propulsion dan kebutuhan biaya yang harus dikeluarkan selama satu tahun.

No.	Component	kW	set	SFOC	SFOC	SFOC	SFOC	Load Factor	SFOC	Price Fuel / yr
				(g/kWh)	(g/h)	(liter/h)	(KL/h)			(USD / yr)
1	DMP									
	Main Engine	2207	2	358	790106	797.281534	0.79728153	0.25	1746.046559	611465.505
				(lt / hour)	-	322.5	0.3225	0.25	706.275	262437.6645
2	Genset	500	3	322.5	-	322.5	0.3225	0.25	706.275	262437.6645
3	Emerg. Genset	400	1	83.3	-	83.3	0.0833	0.125	91.2135	33893.11233
				Total DMP						907796.2818
No.	Component	kW	set	SFOC	SFOC	SFOC	SFOC	Load Factor	SFOC	Price Fuel / yr
				(lt / hour)	(g/h)	(liter/h)	(KL/h)			(USD / yr)
1	DEP									
	Genset	2000	2	770	-	770	0.77	0.25	1686.3	626595.354
2	Emerg. Genset	2800	1	148	-	148	0.148	0.125	162.06	60218.2548
				Total DEP						686813.6088

Catt :

Price HFO / KL = 350,20 USD

MDO / KL = 371,58 USD

1 litre HFO = 0,991 kg

Source : perkembangan harga BBM tahun 2009 (15 Feb'09)

(www.pertamina.com/index)

Dengan kebutuhan suplai daya yang lebih kecil dari sistem semula dan dengan efisiensi bahan bakar yang konstan dan optimal, maka dari tabel perhitungan di atas didapatkan selisih harga bahan bakar untuk per tahunnya antara DMP dan DEP yaitu sebesar $(907.796,281 - 686.813,608) = 220.982,673$ USD / tahun

Sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan bahan bakar dalam sistem DEP lebih irit jika dibandingkan dengan DMP dan akan menambah saving cost bagi kapal .

Untuk analisa ekonomisnya, disini kita batasi untuk pemakaian bahan bakar dan pemeliharaan (docking) saja, maka hasil perhitungan dapat kita tabelkan sebagai berikut :

Tahun ke -	Biaya Operasi (F/P, I, n)		Present value tiap tahun (P/F, I, n)	
	DMP	DEP	DMP	DEP
	1	907796.2818	686813.6088	907796.2818
2	1098433.501	831044.4666	750248.2371	567617.107
3	1208276.851	914148.9133	682036.4245	516009.9324
4	1330955.574	1007414.843	621884.9764	470951.6009
5	1462005.912	1106113.317	563668.8673	426456.306
6	1608251.893	1216758.989	512423.7672	387685.6778
7	1769022.614	1338393.679	465844.74	352445.2715
8	1947803.148	1474104.69	425347.0814	322256.4546
9	2140492.853	1619437.808	384996.4031	291277.6515
10	2354551.216	1781388.457	349991.7785	264794.1187
11	2590033.572	1959547.907	318173.5188	240721.3017
12	2850878.889	2157346.868	291102.1673	220690.4582
13	3133985.104	2371086.622	262952.271	198942.4299
14	3447356.38	2608174.679	239049.9949	180858.6276
15	3792046.628	2868957.807	217317.3519	164416.3098
16	4173174.953	3157759.57	199414.7428	151322.2837
17	4588456.306	3471499.386	179598.4164	135879.2044
18	5047256.547	3818614.984	163276.2392	123530.2957
19	5551991.28	4200483.35	148433.77	112300.8932
20	6109050.524	4622389.591	136785.8773	103939.0128
Total	57111820.03	43211479.54	7820342.907	5918908.546

Tabel 4.20 Present value tiap tahun dan biaya operasi selama 20 tahun ke depan

No.	Sistem	Capital Cost	Total Maint. Cost
1	DEP	12.579.979.967	43.211.479.54
2	DMP	3.085.252.617	57.111.820.03

Tabel 4.21 Capital Cost and total Present value

Dari tabel di atas jika dilihat dari segi ekonomisnya, maka dapat dilihat bahwa Diesel electric propulsion lebih ekonomis jika dibandingkan dengan mechanical propulsion. Seperti terlihat pada tabel bahwa sistem DEP biaya present valuenya setelah 20 tahun sebesar 5.918.908,546 USD dengan modal awal 12.579.979.967 USD, dan sistem DMP biaya present valuenya setelah 20 tahun sebesar 7.820.342,907 USD dengan modal awal 3.085.252,617 USD.

Pada tabel di atas terlihat untuk total biaya operasi dan maintenance dari sistem DMP selama 20 tahun adalah 57.111.820,03 USD, sedangkan untuk DEP sebesar 43.211.479,54 USD sehingga selisihnya 13.900.340,49 USD. Hal ini dikarenakan pada Sistem DMP terdapat 2 buah Main Engine, 3 generator set, dan 1 buah emergency genset, sedangkan pada sistem DEP hanya terdapat 2 buah generator set dan 1 buah emergency set saja. Sehingga konsumsi bahan bakar dan perawatan terhadap komponen pada sistem DMP akan lebih banyak dari pada sistem DEP.

BAB V
KESIMPULAN
DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pada penerapan sistem DMP ini suplai daya masing – masing yang meliputi kebutuhan 2 x 2207 kW main engine sebagai penggerak propulsi, 3 unit main generator 1 unit emergency generator set , 2 buah poros @ 30 meter, Steering Gear, 4 buah genset (1 emergency genset), 1 ruangan shaft room serta alternator sebagai suplai daya kebutuhan listrik, dan pada sistem DEP akan diinstall 2 buah Compact Azipod CA 6Pull, 2 frekuensi converter ACS 600 marine Drive, 2 buah Transformator step up, 2 buah Main genset (2250 kW) ,1 buah emergency genset (2800 kW) dan beberapa komponen pendukung lainnya (Busbar, pengkabelan, ACB(air circuit breaker) ,Panel indicator, Saklar & fuse , Synchronoscope, dan beberapa instrument lainnya).
2. Pada beban maksimal efisiensi dari DEP 88 % - 92 % adalah lebih rendah dari pada sistem DMP 95,5 %. Sehingga dapat dikatakan bahwa transmisi daya pada beban maksimum dari prime mover ke propulsor dengan menggunakan sistem DMP (perporosan) jauh lebih efisien dari pada sistem DEP (kelistrikan). Namun, pada sistem DEP fleksibilitas dari electrical system memungkinkan adanya pengaturan pembebanan terhadap propulsion plant untuk mencapai kondisi operasi yang lebih ekonomis dan efisien.
3. Kapal mempunyai space yang lebih memadai untuk penerapan DEP. Bahkan terdapat banyak tambahan space karena eliminasi beberapa komponen dan terjadi pengurangan berat 14,864 ton dari sistem DMP sehingga salah satu keuntungan yang bisa diambil dari segi space ruangan dan berat instalasi adalah dapat memperbesar kapasitas tangki bahan bakar , sehingga dapat menambah jarak tempuh operasi kapal.
4. Penerapan sistem DEP pada kapal ini, akan lebih mahal 7.949.817,53 dari sistem DMP. Tetapi jika dihitung berdasarkan

biaya operasi dan maintenance selama 20 tahun ke depan sistem DEP akan dapat menghemat konsumsi bahan bakar 220.982,673USD/year sehingga akan menambah saving cost bagi pemilik kapal.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Ådnanes, Alf Kåre. "*Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion* "ABB AS Marine, 2003.
2. Suyadi. " *DIESEL ELECTRIC PROPULSION SEBAGAI ALTERNATIF POWER PLANT PADA KAPAL-KAPAL KOMERSIAL* " Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro , 2006.
3. Benford, Harry. "*A Naval Architect's Guide to Practical Economics* " The University of Michigan, October 1991
4. Sv.Aa, *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Department of Ocean Engineering The technical University of Denmark, Lyngby. 1992
5. *Taylor, Principle Of Naval Architecture Vol. II* The society of Naval & Marine Engineering . New York, 1962
6. *Adji W, Suryo. COURSE OBJECTIVE CHAPTER 7.*
7. www.abb.com/marine , *Doc No. 3AFV6014005 rev. A / 24.10.2008*
8. www.abb.com/marine , *Doc No 3BFV000267R01 REV E © 2004*
9. www.abb.com/marine , *Doc No. 3BHT 490 400 R0001*

10. www.generatorjoe.com/NET (**Technical Data of Broadcrown Genset 2008**)
11. www.generatorjoe.com/NET (**Technical Data of Detroit Diesel Genset 2008**)
12. www.pertamina.com./indexhargaminyak2009
13. www.Tradekey.com
14. www.SurplusSales.com
15. www.sinnocatechnology.itrademarket.com
16. www.midwestequipment.com/circuit-breaker
17. www.yanmar.co.jp/en/marine