



SKRIPSI - ME-1501

**PERENCANAAN SISTEM PROPULSI HYBRID
UNTUK KAPAL *FAST PATROL BOAT* 60 M**

Hangga Krisna Prasetya
NRP 4212 100 093

Dosen Pembimbing
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - ME-1501

**HYBRID PROPULSION SYSTEM PLANNING FOR
FAST PATROL BOAT 60 M**

Hangga Krisna Prasetya
NRP 4212 100 093

Advisor
Dr. Eddy Styo Koenhardono, ST., M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
PERENCANAAN SISTEM PROPULSI HYBRID UNTUK
KAPAL FAST PATROL BOAT 60 M

SKRIPSI

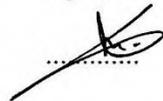
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Electrical and Automation System (MEAS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hangga Krisna Prasetya
Nrp. 4212 100 093

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST. M.Sc
2. Indra Ranu Kusuma, ST M.Sc



SURABAYA
JULI 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN SISTEM PROPULSI HYBRID UNTUK KAPAL FAST PATROL BOAT 60 M

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

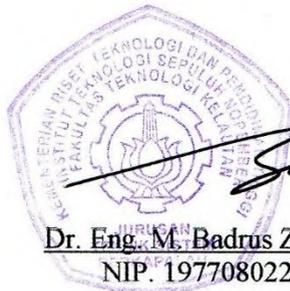
Bidang *Studi Marine Electrical and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hangga Krisna Prasetya

Nrp. 4212 100 093

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman ST., M.T.

NIP. 197708022008011007

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

PERENCANAAN SISTEM PROPULSI HYBRID UNTUK KAPAL FAST PATROL BOAT 60 M

Nama Mahasiswa : Hangga Krisna Prasetya
NRP : 4212 100 093
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Dr. Eddy Setyo K,ST.M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST, M.Sc

ABSTRAK

Kapal fast patrol boat 60 m beroperasi pada kecepatan bervariasi untuk menjalankan misi melindungi perairan Indonesia. Untuk mencapai operasional yang optimal pada setiap kecepatan operasional kapal perencanaan sistem propulsi kapal fast patrol boat 60 m menggunakan sistem propulsi hybrid. Pada perencanaan sistem propulsi hybrid untuk kapal fast patrol boat 60 m menggabungkan sistem propulsi mekanik dan sistem propulsi listrik. Dengan sistem propulsi hybrid kapal dapat beroperasi dengan menggunakan tiga mode. Untuk memperoleh operasional yang optimal pada masing-masing kecepatan operasional kapal perencanaan mode operasi setiap kecepatan operasional kapal haruslah tepat.

Pada tugas akhir ini dilakukan perhitungan dan analisa mengenai tahanan kapal, daya main engine yang dibutuhkan untuk sistem propulsi, kebutuhan daya motor listrik untuk sistem propulsi, kebutuhan generator dan analisa ekonomi penggunaan sistem propulsi hybrid untuk kapal fast patrol boat 60 m. Hasil dari analisa ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem propulsi hybrid untuk kapal vfast patrol boat 60 m memberikan efisiensi lebih tinggi 6% di banding penggunaan sistem propulsi mekanis dan 2% lebih tinggi di banding penggunaan sistem propulsi listrik.

Kata kunci : efisiensi, ekonomi, hybrid, kecepatan, kelistrikan

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

HYBRID PROPULSION SYSTEM PLANNING FOR FAST PATROL BOAT 60 M

Name : Hangga Krisna Prasetya
NRP : 4212 100 093
Department : Marine Engineering
Advisor : Dr. Eddy Steyo K ,ST. M.Sc
Indra Ranu Kusuma, ST, M.Sc

ABSTRACT

Fast patrol boat 60 m operate at variable speed to carry out the mission do protect Indonesian waters. To achieve optimal operation on each speed of operational ship, the propulsion system planning of fast patrol boat 60 m use hybrid propulsion system. Hybrid propulsion system planning for fast patrol boat 60 m combine diesel mechanical propulsion and diesel electrical propulsion. Hybrid propulsion system can operate in three mode operation. To obtain optimal operation for each ship operational, the mode operation planning for each operational speed shall be exactly.

This last project to calculate and to analysh ship resistance, main engine power required , electric motor for propulsion power, capacity og diesel generator set required and economic analysis of hybrid propulsion application. The result of this analysis show that hybrid propulsion application for fast patrol boat 60 m give 6% higher efficiency compared diesel mechanical propulsion and 2% higher efficiency compared diesel electrical propulsion

Keyword : economic, efficiency, electrical, hybrid, speed

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur alhamdulillah saya ucapkan atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Perencanaan Sistem Propulsi Hybrid Untuk Fast Patrol Boat 60 m”. Laporan ini disusun untuk memenuhi mata kuliah Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta serta saudara saya yang sangat membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, atas dukungan berupa materiil dan cinta kasih yang diberikan selama ini.
2. Bapak M. Badrus Zaman ST,M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
3. Bapak Dr.Eddy Setyo Koenhardono,ST.M.Sc dan Bapak Indra Ranu Kusuma, ST. M.Sc. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak A.A.B Dinariyana, ST.,Ph.D selaku dosen wali, yang selama 8 semester ini mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
5. Teman-teman BISMARCK'12 yang selalu memberikan semangat.
6. Semua keluarga dari Laboratorium “Marine Electrical and Automation System (MEAS)” baik teknisi maupun member Lab yang telah memberikan semangat dan transfer ilmu selama pengerjaan skripsi.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa laporan yang telah dikerjakan masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2016

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Sistem Propulsi Kapal	5
2.2.1. Sistem Propulsi Mekanis	6
2.2.2. Sistem Propulsi Elektris	8
2.2.3. Sistem Propulsi Hybrid.....	9
2.3. Teori Analisa Ekonomi.....	10
2.3.1. Biaya Investasi	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
BAB IV ANALISA DATA.....	17
4.1. Data Kapal.....	17
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran.....	86

DAFTAR PUSTAKA.....	87
---------------------	----

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1 Efisiensi Pada Sistem Propulsi Mekanik.....</i>	<i>6</i>
<i>Gambar 2.2 Engine Performance Motor Diesel</i>	<i>7</i>
<i>Gambar 2.3 Sistem Propulsi Elektris</i>	<i>8</i>
<i>Gambar 2.4 Konfigurasi Sistem Propulsi Hybrid</i>	<i>9</i>
<i>Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian</i>	<i>13</i>
<i>Gambar 4.1 General Arrangement Fast Patrol Boat 60 m.....</i>	<i>18</i>
<i>Gambar 4.2 Analisa Tahanan Kapal dengan Menggunakan Maxsurf.....</i>	<i>19</i>
<i>Gambar 4.3 Grafik Hubungan KT-J Pada Kecepatan 12 Knots.</i>	<i>21</i>
<i>Gambar 4.4 Grafik Hubungan KT-J Pada Kecepatan 20 Knots.</i>	<i>22</i>
<i>Gambar 4.5 Grafik Hubungan KT-J Pada Kecepatan 20 Knots</i>	<i>22</i>
<i>Gambar 4.6 Grafik Hubungan KT-J Pada Kecepatan 27 Knot</i>	<i>23</i>
<i>Gambar 4.7 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 12 Knots.....</i>	<i>25</i>
<i>Gambar 4.8 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Rought Hull Saat Kecepatan Kapal 12 Knots</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 4.9 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 20 Knots.....</i>	<i>27</i>
<i>Gambar 4.10 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Rought Hull Saat Kecepatan Kapal 20 Knots</i>	<i>28</i>
<i>Gambar 4.11 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 25Knots</i>	<i>29</i>
<i>Gambar 4.12 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Rought Hhull Saat Kecepatan Kapal 25 Knots</i>	<i>30</i>
<i>Gambar 4.13 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 27 Knots</i>	<i>31</i>
<i>Gambar 4.14 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Rought Hull Saat Kecepatan Kapal 27 Knots</i>	<i>32</i>
<i>Gambar 4.15 Dimesi Frekuensi Inverter.....</i>	<i>36</i>
<i>Gambar 4.16 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Mekanis</i>	<i>41</i>
<i>Gambar 4.17 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 1.....</i>	<i>50</i>

<i>Gambar 4.18 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 2</i>	54
<i>Gambar 4.19 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 3</i>	58
<i>Gambar 4.20 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 4</i>	62
<i>Gambar 4.21 Grafik Analisa Break Even Poin Sistem Propulsi Hybrid, Sistem Propulsi Mekanis dan Sistem Propulsi Elektris</i> .	82
<i>Gambar 4.22 Grafik Biaya Investasi dan Bahan Bakar Untuk Sistem Propulsi Hybrid dan Sistem Propulsi Mekanis Dalam 5 Tahun</i>	83
<i>Gambar 4.23 Grafik Biaya Investasi dan Bahan Bakar Untuk Sistem Propulsi Sistem Propulsi Mekanis dan Sistem Propulsi Elektris Dalam 30 Tahun</i>	84

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1.1 Pola Operasional Kapal Patroli</i>	<i>2</i>
<i>Tabel 2.1 Biaya Investasi Komponen Sistem Propulsi Kapal</i>	<i>10</i>
<i>Tabel 4.1 Tahanan dan Kebutuhan Power Kapal Untuk Beroperasi Pada Setiap Kecepatan Operasional Kapal</i>	<i>19</i>
<i>Tabel 4.2 Nilai KT Kondisi Clean Hull dan Rought Hull pada Kecepatan Operasional Kapal 12 Knot dan 20 Knot.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabel 4.3 Nilai KT Kondisi Clean Hull dan Rought Hull pada Kecepatan Operasional Kapal 25 Knot dan 27 Knot.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabel 4.4 Nilai KT,KQ,J dari Pembacaan</i>	<i>24</i>
<i>Tabel 4.5 Nilai J,KT,KQ, η_o Pada Kondisi Clean Hull</i>	<i>33</i>
<i>Tabel 4.6 Nilai J,KT,KQ, η_o Pada Kondisi Rought Hull</i>	<i>33</i>
<i>Tabel 4.7 Kebutuhan Daya Kapal Untuk Beroperasi Pada Setiap Kecepatan Operasional Kndisi Clean Hull.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabel 4.8 Kebutuhan Daya Kapal Untuk Beroperasi Pada Setiap Kecepatan Operasional Kondisi Rought Hull.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabel 4.9 Kebutuhan Daya Listrik Pada Kapal Fast Patrol Boat 60 m.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabel 4.10 Profile Operasional Kapal</i>	<i>39</i>
<i>Tabel 4.11 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Power Ranting Diesel Generator 10V 1600G 10F</i>	<i>40</i>
<i>Tabel 4.12 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Mekanis</i>	<i>44</i>
<i>Tabel 4.13 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Power Ranting Diesel Generator 12V4000G63.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabel 4.14 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Elektris</i>	<i>48</i>
<i>Tabel 4.15 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Power Ranting Diesel Generator 12V1600G20F</i>	<i>49</i>
<i>Tabel 4.16 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 1.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabel 4.17 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 2.....</i>	<i>57</i>

<i>Tabel 4.18 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 3.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabel 4.19 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 4.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabel 4.20 Initial Cost Untuk Sistem Propulsi Hybrid.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabel 4.21 Initial Cost Sistem Propulsi Mekanis</i>	<i>67</i>
<i>Tabel 4.22 Initial Cost Sistem Propulsi Elektris</i>	<i>68</i>
<i>Tabel 4.23 Harga BBM Region I (Wet Java, Central Java, Dan East Java).....</i>	<i>69</i>
<i>Tabel 4.24 Harga BBM Region IV (NTT dan Sorong).....</i>	<i>69</i>
<i>Tabel 4.25 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Propulsi Hytbrid Per Tahun</i>	<i>72</i>
<i>Tabel 4.26 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Propulsi Mekanis Per Tahun</i>	<i>76</i>
<i>Tabel 4.27 Operasional Cost Sistem Propulsi Elektris</i>	<i>78</i>
<i>Tabel 4.28 Operasional Cost Sistem Propulsi Mekanis</i>	<i>79</i>
<i>Tabel 4.29 Operasional Cost Sistem Propulsi Elektris</i>	<i>80</i>
<i>Tabel 4.30 Operasional Cost Sistem Propulsi Elektris</i>	<i>81</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banyak kasus pelanggaran berupa pelanggaran wilayah oleh kapal Negara asing, illegal fishing dan illegal logging yang terjadi di territorial Indonesia (Bimantoro, 2014). Untuk menjalankan misi melindungi perairan Indonesia kapal patroli memiliki kecepatan dinas yang bervariasi. Adanya kecepatan dinas yang bervariasi ini menuntut suatu sistem propulsi kapal yang memiliki fleksibilitas yang tinggi (Wyndiandari & Wahyudi, 2011)

Salah satu jenis sistem propulsi yang memiliki fleksibilitas operasional yang tinggi adalah sistem propulsi hybrid. Sistem propulsi *hybrid* merupakan perpaduan antara sistem propulsi mekanik dan sistem propulsi elektrik. Sistem propulsi *hybrid* yang direncanakan untuk kapal FPB 60 memiliki tiga pola operasional, yaitu sistem elektrik, sistem PTO dan sistem mekanis. Penggunaan diantara ketiga jenis mode operasional tersebut disesuaikan dengan kebutuhan daya untuk mencapai kecepatan dinas dan kebutuhan beban listrik yang terjadi.

Dengan adanya perubahan mode operasional pada setiap kecepatan pada sistem propulsi *hybrid*, menjadikan sistem propulsi *hybrid* memiliki fleksibilitas pembangkitan daya yang tinggi sehingga sistem propulsi ini tepat untuk kapal *fast patrol boat* 60 m yang beroperasi pada kecepatan bervariasi (Koenhardono, 2014). Pola operasional dari kapal kapal patroli seperti yang tertera pada tabel 1.1 berikut

Tabel 1.1 Pola Operasional Kapal Patroli

Misi Operasi	Pengintaian	Patroli		Penjelajahan	Pengejaran
		Lambat	Cepat		
Speed (knot)	5	12	18	24	30
Percentage	10%	30%	45%	10%	5%
Hour	250	750	1125	250	125

(ES koenhardono,2014)

Dalam pengoperasian sistem propulsi hybrid mode propulsi yang digunakan beroperasi pada setiap kecepatan akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar engine baik untuk sistem propulsi maupun kelistrikan. Untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar pada titik yang terendah perlu dilakukan pengaturan pembebanan pada motor utama maupun mesin bantu pada setiap kecepatan operasional kapal.

Pemilihan kebutuhan daya untuk motor utama, daya motor listrik dan daya beserta jumlah generator sangat menentukan keberhasilan untuk perencanaan sistem propulsi hybrid untuk kapal *fast patrol boat* 60 m. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan perencanaan konfigurasi sistem propulsi *hybrid* untuk mendapatkan performance yang paling maksimal.

1.2 Perumusan Masalah

Pada perencanaan sistem propulsi hybrid penentuan konfigurasi antara sistem propulsi dan sistem kelistrikan Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan konfigurasi sistem propulsi hybrid untuk kapal *Fast Patrol Boat* 60 m
2. Perbandingan antara penggunaan sistem propulsi mekanis, elektrik dan hybrid untuk *Fast Patrol Boat* 60 m
3. Penentuan sistem propulsi yang paling sesuai untuk kapal *Fast Patrol Boat* 60 m

1.3 Batasan Masalah

Sebagai obyek penelitian adalah kapal patroli Fast Patrol Boat 60 m yang didisain oleh Muhammad Halim (4208 100 502).

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan konfigurasi sistem propulsi hybrid yang lebih optimal untuk kapal FPB 60 m dibandingkan penggunaan sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi elektrik

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Sebagai alternatif untuk peningkatan kinerja dari kapal *fast patrol boat* 60 m.
2. Mengetahui kebutuhan ekonomi pada kondisi operasional kapal fast patrol boat.

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Karakteristik kapal patroli yang memiliki beberapa variasi kecepatan dinas, diantaranya yaitu : kecepatan pada saat patroli, pengintaian, serta kecepatan pada saat melakukan pengejaran. Dalam mendukung kebutuhan akan variasi kecepatan tersebut, maka diperlukan sistem propulsi yang optimal (Nugroho, 2011).

Kecepatan yang bervariasi ini pada kapal patroli mengakibatkan motor diesel tidak dapat senantiasa beroperasi pada kondisi puncak. Oleh karena itu, diperlukan sistem propulsi yang sangat fleksibel, seperti sistem propulsi hybrid (Koenhardono, 2014).

2.2. Sistem Propulsi Kapal

Pada saat beroperasi di laut, suatu kapal harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan kecepatan dinas (V_s) seperti yang direncanakan. Hal ini mempunyai arti bahwa, kapal haruslah mempunyai rancangan sistem propulsi (penggerak) yang dapat mengatasi keseluruhan gaya-gaya hambat (total *resistance*) yang terjadi agar memenuhi standar kecepatan dinasnya. Dasar perancangan sistem penggerak utama adalah merupakan koordinasi antara primer mover dengan sistem transmisi dan propulsor. Untuk menentukan pilihan seorang marine engineer harus mempertimbangkan beberapa kemungkinan kombinasi permesinan (Masroeri & Asianto, 1999).

Secara umum, sistem propulsi kapal terdiri dari tiga komponen utama, antara lain:

- a. Motor Penggerak Utama (Prime Mover)
- b. Sistem Transmisi (Transmission)

c. Alat Gerak (Propulsor).

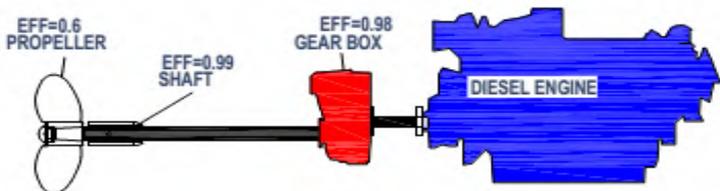
Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang didalam proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah. Kesalahan didalam perancangan, akan membawa konsekuensi yang sangat besar terhadap kondisi-kondisi sebagai berikut:

- a. Tidak tercapainya kecepatan dinas kapal yang direncanakan.
- b. Fuel oil consumption yang tidak efisien.
- c. Turunnya nilai ekonomis dari operasional kapal tersebut.
- d. Pengaruh pada tingkat vibrasi yang terjadi pada badan kapal, dsb.

2.2.1. Sistem Propulsi Mekanis

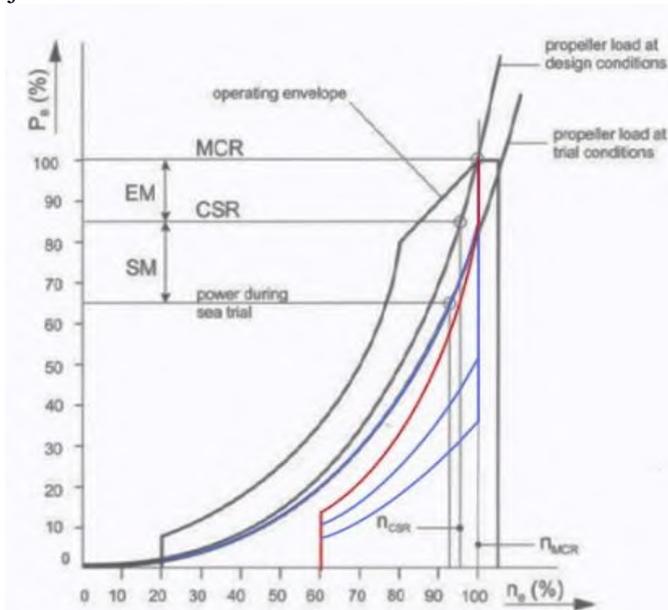
Pada dekade terakhir ini 99% kapal komersial beroperasi dengan menggunakan motor diesel sebagai penggerak utamanya. hingga saat ini *diesel mechanical propulsion* masih mendominasi, karena efisiensi tinggi, kehandalan dan operasionalnya jangka panjang (V.T. Lamaris & D.T. Hountalas,2009).

Berdasarkan literature yang ditulis Windyari A & Wahyudi D (2014) DMP (Diesel Mechanical Propulsion) mampu memberikan tingkat efisien lebih dari 95%. Sedangkan Diesel Electric Propulsion hanya mampu memberikan efisiensi sebesar 85% - 89% yang sedikit lebih rendah dibanding DMP. Pada sistem propulsi DMP efisiensi gearbox 98%, efisiensi shaft 98%, dan efisiensi efisiensi propeler 60% seperti yang dilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Efisiensi Pada Sistem Propulsi Mekanik
(Windyari A & Wahyudi D 2014)

Penggunaan mesin diesel sebagai penggerak utama pada sistem propulsi mekanis memiliki efisiensi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan mesin penggerak lainnya seperti *gas turbine* dan *Steam turbine* (Kwasiieckyj, 2013). Dalam perencanaan penggunaan mesin diesel sebagai penggerak utama kapal pada sistem propulsi mekanis perlu dilakukan engine propeller matching untuk mendapatkan efisiensi yang optimal. Engine propeller matching digunakan untuk operasional engine pada engine envelope area operasi engine pada engine envelop seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2.



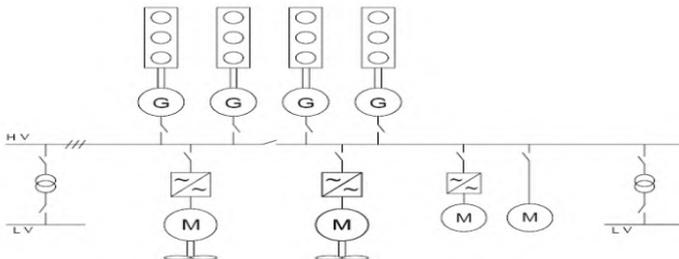
Gambar 2.2 Engine Performance Motor Diesel
(Kwasiieckyj,2013)

2.2.2. Sistem Propulsi Elektris

Sistem propulsi listrik (*Diesel Electrical Propulsion*) pada saat ini banyak dikembangkan pada propulsi kapal karena memiliki performa yang bagus dalam mobilitas, keamanan, keandalan, tingkat otomatis dan perlindungan lingkungan (Lu Hengrong.2012).

Keberhasilan dari sistem propulsi listrik (*Diesel Electrical Propulsion*) tergantung pada sistem kontrolnya pada alat penggerak, generator, dan Power converter. Pengontrolan terdiri dari *prime mover load haring* (digunakan untuk mengontrol daya yang delivery sesungguhnya), *generator load sharing* (memakai generator voltage regulator otomatis), *automatic load hedding*, *power limiting*, dan *propeler blade poition control*. Peralatan berupa electric control dapat digunakan secara otomatis untuk mengatur respon kecepatan putaran per-satuan konstata waktu atau limit tertentu. Sistem ini sangat cocok untuk kapal yang membutuhkan manuver yang tinggi, yang membutuhkan tenaga yang besar (Halim, 2010).

Gambar 2.3 merupakan gambaran sederhana sistem *Diesel-Electric Propulsion*, dengan beberapa komponen pendukungnya. *Diesel-Generator* dengan menggunakan *synchronouse machine* yang digunakan sebagai penghasil daya menuju *Switchboard*. untuk mensuplai adanya variasi *redudance* pembebanan di kapal.



Gambar 2.3 Sistem Propulsi Elektris
(Halim M., 2010)

2.3. Teori Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai prospek penggunaan sistem propulsi hybrid. Analisa ekonomi pada perencanaan ini menggunakan metode *Break Even Point* (BEP). Metode BEP dilakukan dengan membandingkan nilai ekonomi penggunaan sistem propulsi hybrid dengan penggunaan sistem propulsi mekanis dan elektrik.

2.3.1. Biaya Investasi

Menurut Kwasiieckj (2013) dalam perencanaan sistem propulsi *Capital cost* seharusnya juga dihitung karena biaya investasi untuk komponen akan menentukan keputusan terakhir. Perkiraan mengenai biaya investasi berdasarkan data dan pengalaman MDT. Analisa biaya investasi mengenai perencanaan sistem propulsi dipengaruhi power dari komponen seperti yang tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Biaya Investasi Komponen Sistem Propulsi Kapal

Component	Costs [€/kW]	Remarks
Diesel engine 4-stroke	360	Line type
Diesel engine 4-stroke	340	V-type < 32 bore
Diesel engine 4-stroke	280	V-type ≥ 32 bore
Diesel generator set	400	< 32 bore
Diesel generator set	360	≥ 32 bore
Electric machine	50	Induction
Single stage gearbox	30	Extra input adds ± 15%
Frequency converter	120	Both PWM and LCI
Frequency converter	135	With active front end
CPP + shaftline	100	

(Kwasiieckj,2013)

2.3.2. Biaya Operasional

Biaya operasional pada suatu kapal umumnya ditentukan oleh factor yang dominan yakni konsumsi bahan bakar selama

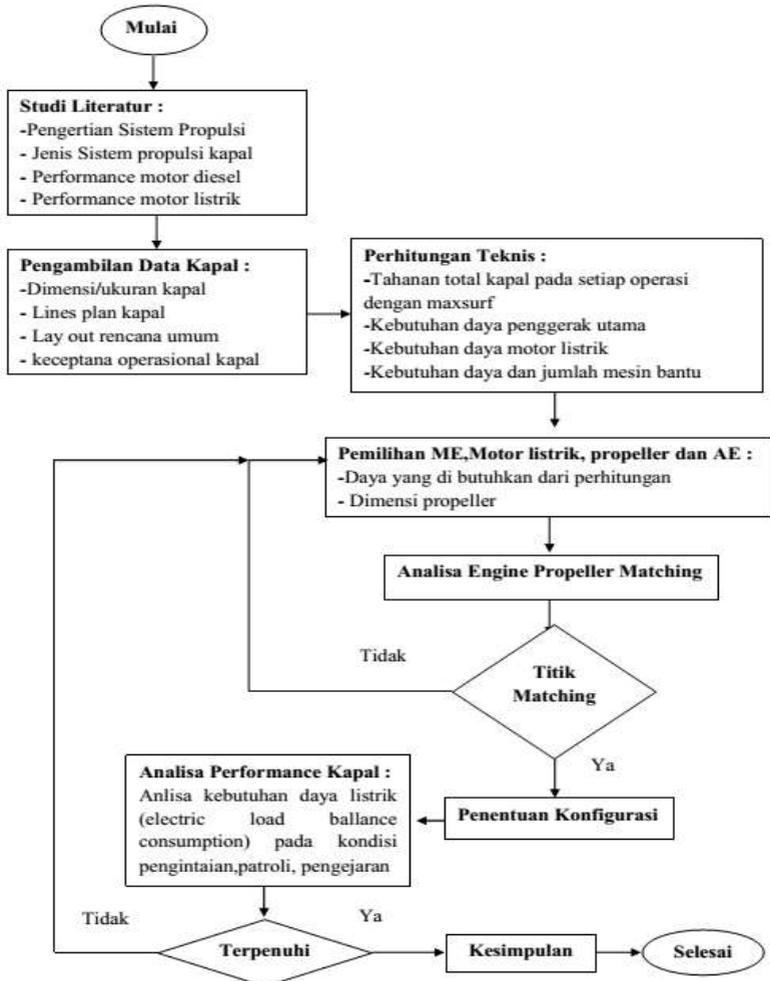
kapal itu beroperasi. Sebelum menentukan besarnya biaya kebutuhan bahan bakar terlebih dahulu harus diketahui berat dari bahan bakar yang dibutuhkan selama kapal beroperasi (Halim M., 2011).

2.3.3. Break Even Point

Break Even Point (BEP) adalah suatu keadaan perusahaan dimana dengan keadaan tersebut perusahaan tidak mengalami kerugian juga perusahaan tidak mendapat laba sehingga terjadi keseimbangan atau impas. (Syafaruddin, 1990).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini untuk membuat kerangka dasar penyelesaian terhadap permasalahan yang sedang diteliti dan senantiasa akan menjadi acuan pemikiran. Metoda penulisan ini mencakup semua tindakan ataupun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam upaya penyelesaian penelitian perencanaan sistem propulsi hybrid untuk kapal *fast patrol boat* 60 m. Secara garis besar proses penelitian ini diperlihatkan pada gambar 3.1 yang diterangkan pada sub bab berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan tujuan untuk memperdalam pemahaman mengenai pengetahuan yang menunjang dalam penyelesaian permasalahan dari penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan mencari data tertulis atau referensi yang mendukung dan berkaitan dengan masalah yang diteliti meliputi bukubuku teori, jurnal, laporan hasil penelitian yang terkait dengan masalah penelitian diatas.

2. Pengambilan Data

Metode penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari berbagai sumber, antara lain :

- a. Lines Plan Untuk mengetahui tahanan kapal fast patrol boat 60 m untuk setiap kondisi operasi.
- b. Rencana umum dari kapal untuk mengetahui *space* yang tersedia untuk ruang mesin dan menentukan posisi peletakan komponen-komponen sitem propulsi hybrid.
- c. Data beban kelistrikan kapal untuk menentukan spesifikasi generator dan beban yang dapat di cover pada saat mode PTO.
- d. Data peralatan-peralatan sistem propulsi yang ada di pasaran.

3. Perhitungan

Setelah mengetahui data utama yang diperlukan maka pada tahapan ini dilakukan beberapa perhitungan diantaranya:

- a. Tahanan total kapal dengan permodelan software maxsurf.
- b. Kebutuhan power main engine.
- c. Kebutuhan daya motor listrik.
- d. Kebutuhan kapasitas generator

4. Pemilihan spesifikasi komponen-komponen sistem propulsi hybrid

Setelah Tahanan total, kebutuhan Power serta efisiensi propulsif maka kita dapat menentukan jenis peralatan-peralatan yang sesuai di pasaran:

a. *Pemilihan Main Engine*

Pemilihan *main engine* harus memperhatikan beberapa kriteria baik dari segi daya, putaran, type, berat, dimensi, dan Fuel Oil Consumption (SFOC).

b. *Pemilihan Motor*

Pemilihan motor harus memperhatikan beberapa kriteria seperti daya, Voltage, Jenis Motor, Dimensi, Putaran maupun Berat.

c. *Pemilihan diesel generator set*

Pemilihan *diesel generator set* harus memperhatikan beban kelistrikan untuk penunjang operasional kapal baik beban untuk propulsi, penerangan maupun peralatan-peralatan listrik pada kapal.

5. Analisa Engine propeller Matching

Analisa engine propeller matching dilakukan untuk mengetahui komponen-komponen sistem propulsi yang telah di pilih pada langkah sebelumnya sudah benar-benar matching. *Engine propeller matching* dilakukan agar engine yang bekerja berada pada area yang konsumsi bahan bakarnya paling rendah berdasarkan *engine performance curve*.

6. Penentuan konfigurasi

Penentuan konfigurasi dilakukan dengan perhitungan manual untuk mengetahui sistem propulsi dan sistem kelistrikan untuk beban propulsi dari sistem propulsi hybrid terpenuhi guna mencapai hasil keberhasilan dan optimal sistem propulsi hybrid.

7. Analisa *Performance*

Analisa *performance* dilakukan pada beberapa skenario konfigurasi. Analisa ini untuk mengetahui konfigurasi paling efisien dari penggunaan sistem propulsi hybrid.

8. Kesimpulan

Dari data yang diperoleh pada saat penelitian ditarik kesimpulan mengenai keekonomisan penggunaan sistem propulsi hybrid untuk kapal fast patrol boat 60 m.

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Data Kapal

4.1.1. Principle Dimention

Data utama kapal *fast patrol boat 60 m* yang didapat dari gambar rencana umum (*general arrangement*) sebagai berikut:

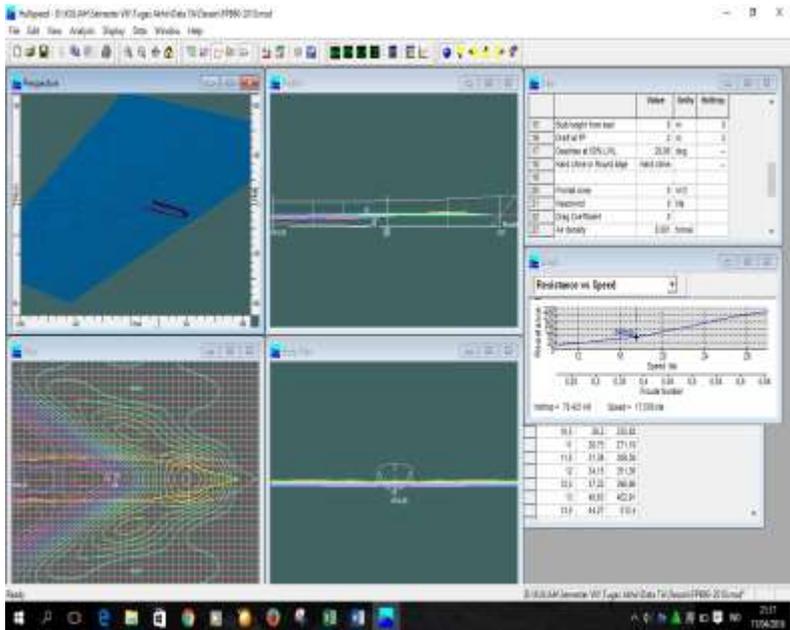
- *Length Over All (LOA)* : 60,32 m
- *Length Water Line (LWL)* : 55,82 m
- *Length of Perpendicular (LPP)* : 54,39 m
- *Breadth (mld) Maximum* : 8,37 m
- *Breadth* : 7,37 m
- *Height (mld) to main deck* : 5,09 m
- *Height Total (Incl. Tower)* : 16,59 m
- *Draft (Maximum)* : 2,00 m
- *Displacement* : 291,5 m

4.1.2. Data Permesinan

- Main Marine Engine : MWM TBD620V16 (2 x 2030 KW/2720 HP/1800 RPM)
- Gearbox Ratio 2,278 Medium duty
- Propeller : B5-90 HS-series
- Putaran Propeller : 790,17 Rpm
- Diameter Propeller : 1308 mm
- Propeller Pitch : 1288 mm
- Diesel Generator Set : 3 x 225 KVA/50 Hz
- Emergency Generator : 85 KVA/50 Hz

4.1.3. General Arrangement (GA) Kapal Fast Patrol Boat 60 m

General arrangement kapal berkaitan dengan *space* yang tersedia di kapal untuk menentukan dimensi dan peletakan komponen-komponen kapal. Pada perencanaan ini *general*



Gambar 4.2 Analisa Tahanan Kapal dengan Menggunakan Maxsurf

Dari analisa tahanan yang dilakukan di maxsurf di dapat nilai tahanan kapal dan kebutuhan daya engine dengan efisiensi propulsi 60% untuk setiap kecepatan operasional kapal seperti yang tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tahanan dan Kebutuhan Power Kapal Untuk Beroperasi Pada Setiap Kecepatan Operasional Kapal

Speed (Knot)	Tahanan Kapal (KN)	Kebutuhan Power (Kw)
12,00	34,15	351,36
20,00	99,39	1704,34
25,00	165,63	3550,42
27,00	189,65	4390,34

4.3. Interaksi Lambung Kapal dan Propeller

Pada perhitungan ini dilakukan untuk mematchingkan antara koefisien Trust yang dihasilkan oleh propeller dengan karakteristik dari lambung kapal. Pada perencanaan ini propeller yang digunakan sama dengan propeller yang digunakan pada perencanaan sebelumnya. Berikut data propeller yang digunakan pada perencanaan ini :

- Propeller Series : B5
- A_e / A_o : 0,90
- Pitch / Diameter (P/D) : 0,98

Dari perhitungan yang telah dilakukan pada microsoft excel hasil perhitungan interaksi antara propeller dan lambung kapal seperti yang tertera pada tabel 4.2. dan Tabel 4.3.

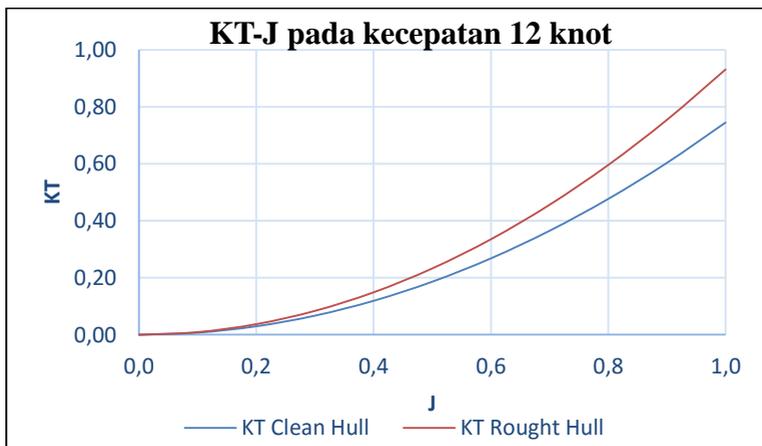
Tabel 4.2 Nilai K_T Kondisi Clean Hull dan Rought Hull pada Kecepatan Operasional Kapal 12 Knot dan 20 Knot

Tabel KT-J					
J	J²	Kecepatan 12 knot		Kecepatan 20 knot	
		K_T clean Hull	K_T rought Hull	K_T clean Hull	K_T rought Hull
0,0	0,000	0,0000	0,0000	0,000	0,000
0,1	0,010	0,0091	0,0091	0,011	0,012
0,2	0,040	0,0364	0,0364	0,045	0,049
0,3	0,090	0,0818	0,0818	0,101	0,111
0,4	0,160	0,1455	0,1455	0,179	0,197
0,5	0,250	0,2273	0,2273	0,280	0,308
0,6	0,360	0,3273	0,3274	0,403	0,443
0,7	0,490	0,4455	0,4456	0,549	0,604
0,8	0,640	0,5819	0,5820	0,717	0,788
0,9	0,810	0,7365	0,7366	0,907	0,998
1	1,000	0,9092	0,9094	1,120	1,232

Tabel 4.3 Nilai K_T Kondisi Clean Hull dan Rought Hull pada Kecepatan Operasional Kapal 25 Knot dan 27 Knot

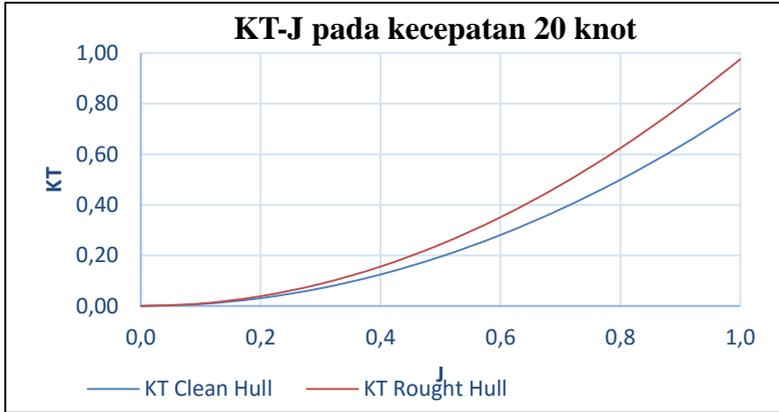
J	J^2	Kecepatan 25 knot		Kecepatan 27	
		K_T clean Hull	K_T rought Hull	K_T clean Hull	K_T rought Hull
0	0	0	0	0	0
0,1	0,01	0,009	0,01	0,008	0,009
0,2	0,04	0,038	0,041	0,033	0,037
0,3	0,09	0,085	0,093	0,075	0,083
0,4	0,16	0,151	0,166	0,133	0,147
0,5	0,25	0,236	0,259	0,208	0,229
0,6	0,36	0,339	0,373	0,3	0,33
0,7	0,49	0,462	0,508	0,408	0,449
0,8	0,64	0,603	0,664	0,533	0,587
0,9	0,81	0,763	0,84	0,675	0,743
1	1	0,942	1,037	0,833	0,917

Dari nilai K_T -J pada tabel 4.3 kemudian dibuat kurva hubungan antara K_T dan J baik pada kondisi clean hull maupun rought hull seperti yang ditunjukkan 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4.



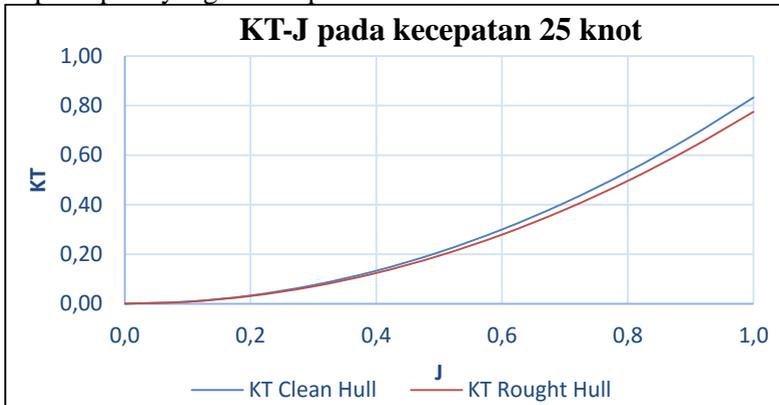
Gambar 4.3 Grafik Hubungan K_T -J Pada Kecepatan 12 Knots

Gambar 4.3 menunjukkan nilai K_{Thull} pada kecepatan 12 knot. J merupakan koefisien advance dan KT merupakan koefisien thrust dari lambung kapal. Nilai KT pada tiap-tiap J seperti yang tertera pada tabel 4.3.



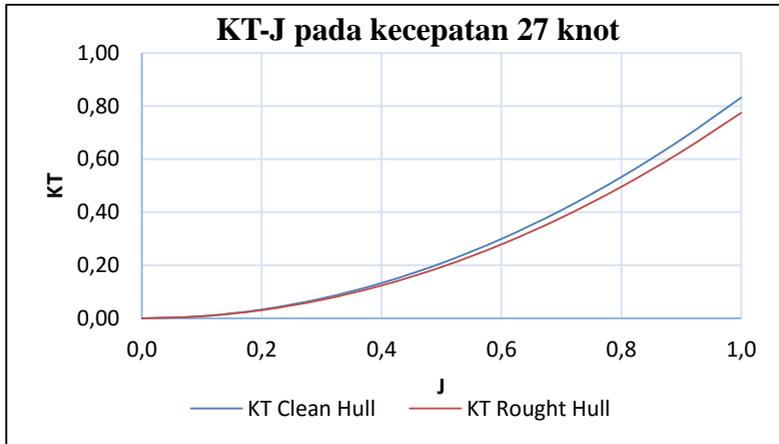
Gambar 4.4 Grafik Hubungan KT - J Pada Kecepatan 20 Knots

Gambar 4.4 menunjukkan nilai K_{Thull} pada kecepatan 20 knot. J merupakan koefisien advance dan KT merupakan koefisien thrust dari lambung kapal pada kecepatan 20 knots. Nilai KT pada tiap-tiap J seperti yang tertera pada tabel 4.3.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan KT - J Pada Kecepatan 20 Knots

Gambar 4.5 menunjukkan nilai K_{Thull} pada kecepatan 25 knot. J merupakan koefisien advance dan KT merupakan koefisien thrust dari lambung kapal pada kecepatan 25 knots. Nilai KT pada tiap-tiap J seperti yang tertera pada tabel 4.3.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan KT - J Pada Kecepatan 27 Knot

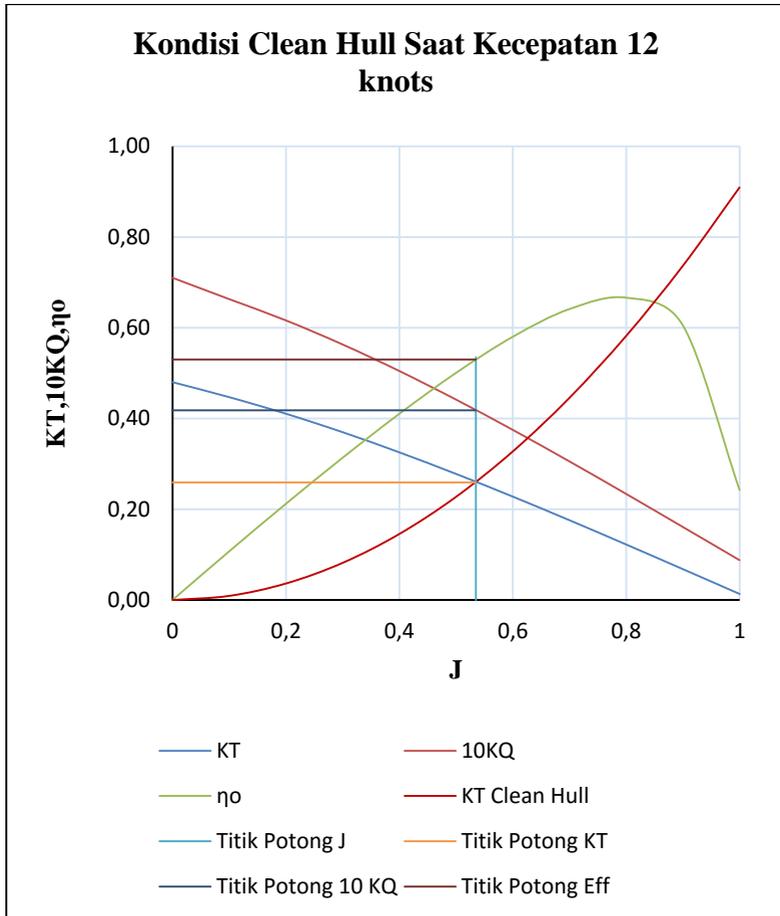
Gambar 4.6 menunjukkan nilai K_{Thull} pada kecepatan 27 knot. J merupakan koefisien advance dan KT merupakan koefisien thrust dari lambung kapal pada kecepatan 27 knots. Nilai KT pada tiap-tiap J seperti yang tertera pada tabel 4.3.

Kurva KT - J hull tersebut dilakukan hull propeller matching untuk menghitung kebutuhan daya mesin penggerak utama kapal pada masing-masing kecepatan operasional kapal. Hull propeller matching dilakukan dengan menggabungkan kurva KT - J hull dengan kurva open water test tipe propeller yang digunakan. Untuk mengetahui data dari propeller yang digunakan dilakukan pembacaan kurva Open Water Test. Dari hasil pembacaan kurva Open water test propeller B5 60 di dapat data pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai K_T, K_Q, J dari Pembacaan Kurva Open Water Test B 5 90

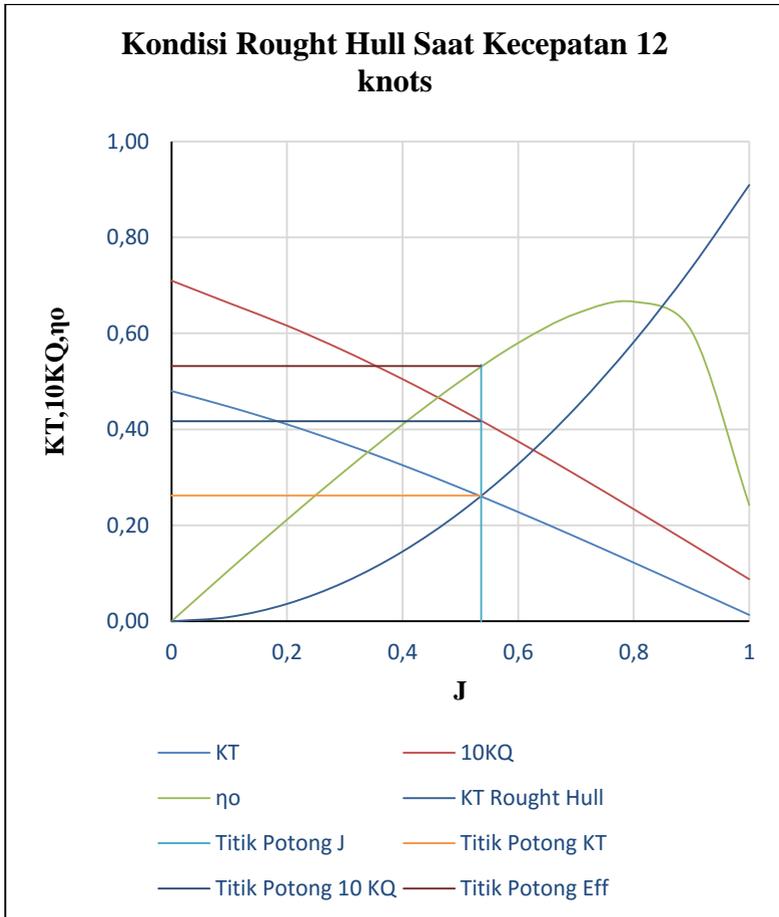
P/Db	0,98		
J	K_T	$10K_Q$	η_o
0	0,48	0,71	0,00
0,1	0,45	0,66	0,11
0,2	0,41	0,62	0,21
0,3	0,37	0,56	0,31
0,4	0,33	0,50	0,41
0,5	0,28	0,44	0,50
0,6	0,23	0,37	0,58
0,7	0,18	0,31	0,64
0,8	0,12	0,23	0,67
0,9	0,07	0,16	0,61
1	0,01	0,09	0,24

Dari data pada tabel 4.4 tersebut dibuat kurva yang kemudian kurva tersebut dilakukan *hull propeller matching* untuk menghitung putaran dan daya engine yang paling efisien untuk kapal beroperasi pada setiap kecepatan operasional kapal sesuai dengan misi yang dijalankan.



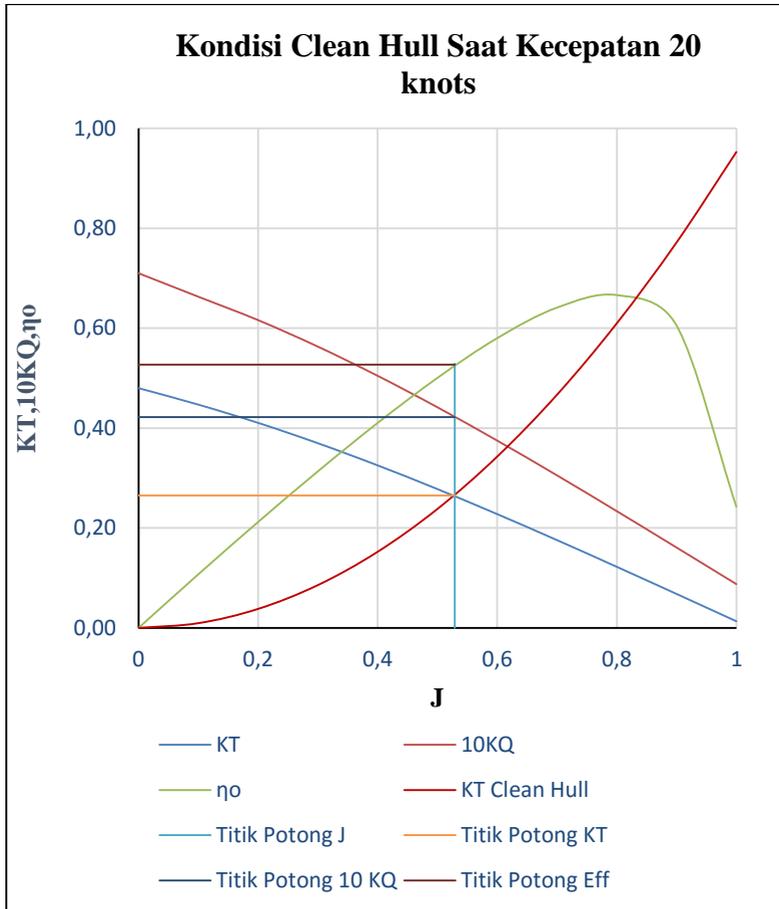
Gambar 4.7 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 12 Knots

Gambar 4.7 menunjukkan terjadinya perpotongan garis KT clean hull dan KT propeller. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *rough hull* saat kecepatan kapal 12 knot nilai KT sebesar 0,259 nilai J sebesar 0,535, nilai KQ sebesar 0,418 dan efisiensi sebesar 0,53.



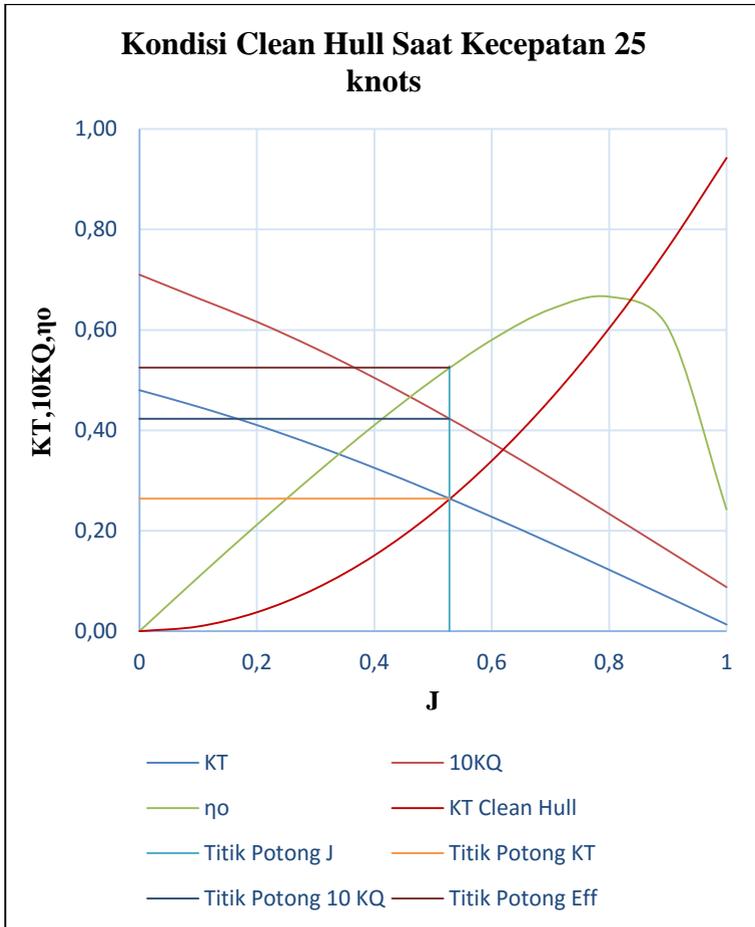
Gambar 4.8 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Rought Hull Saat Kecepatan Kapal 12 Knots

Gambar 4.8 menunjukkan terjadinya perpotongan garis KT rouhgt hull dan KT propeller. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *rouhgt hull* saat kecepatan kapal 12 knots nilai KT sebesar 0,262 nilai J sebesar 0,536, nilai KQ sebesar 0,417 dan efisiensi sebesar 0,532.



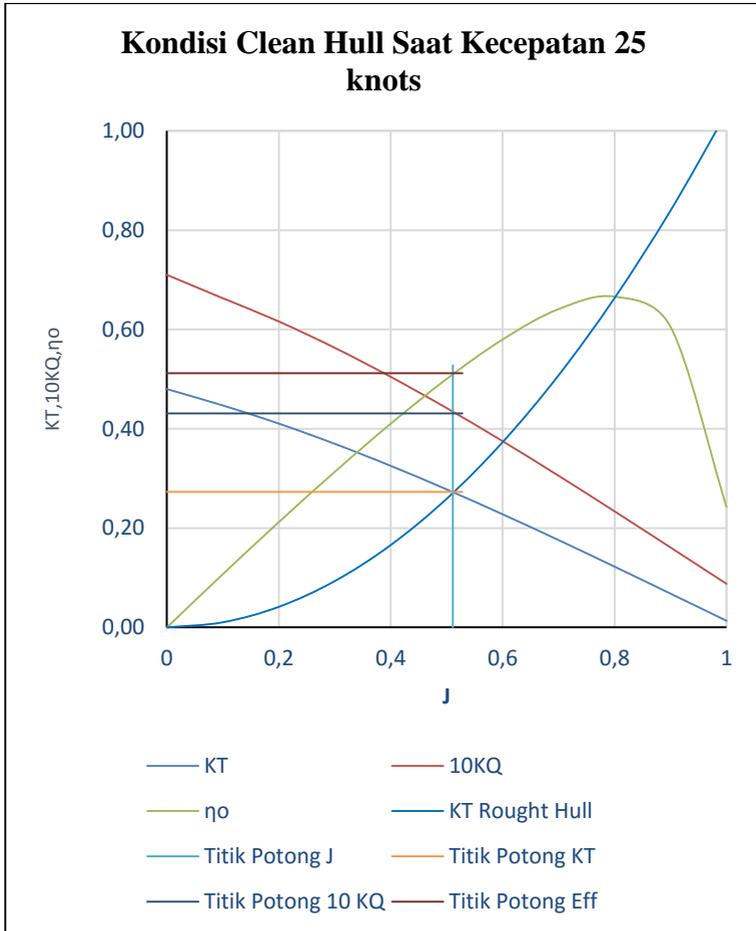
Gambar 4.9 Grafik Hull Propeller Matching pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 20 Knots

Gambar 4.9 menunjukkan terjadinya perpotongan garis KT *clean hull* dan KT propeller. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *clean hull* saat kecepatan kapal 20 knot nilai KT sebesar 0,281 nilai J sebesar 0,499, nilai KQ sebesar 0,443 dan efisiensi sebesar 0,504.



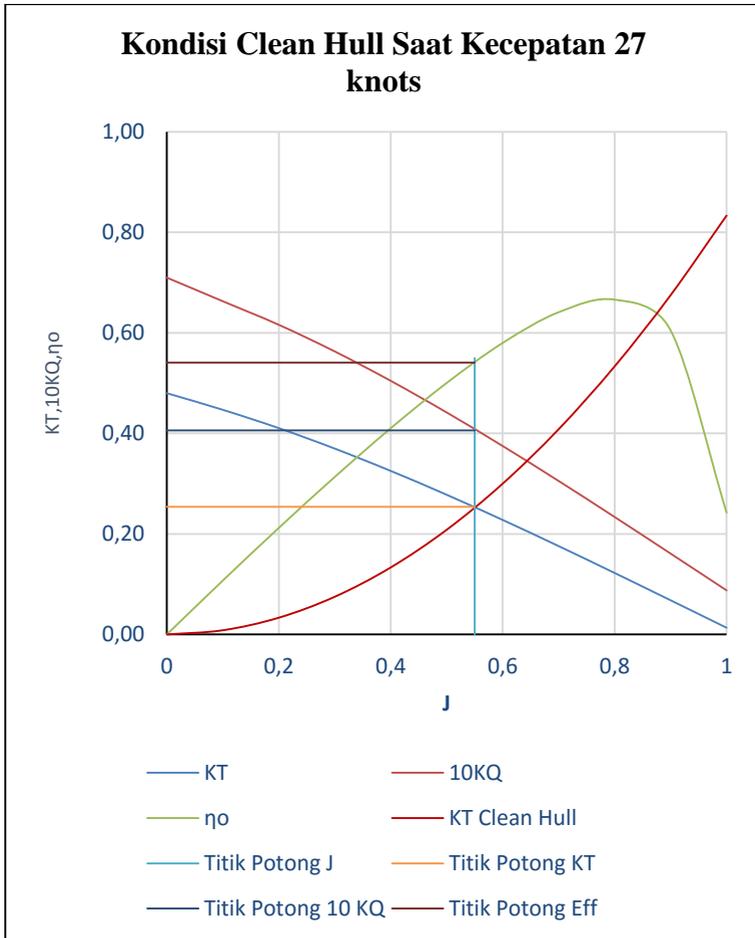
Gambar 4.11 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 25Knots

Gambar 4.11 menunjukkan terjadinya perpotongan garis *KT clean hull* dan *KT propeller*. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *clean hull* saat kecepatan kapal 25 knot nilai *KT* sebesar 0,264 nilai *J* sebesar 0,528, nilai *KQ* sebesar 0,423 dan efisiensi sebesar 0,525.



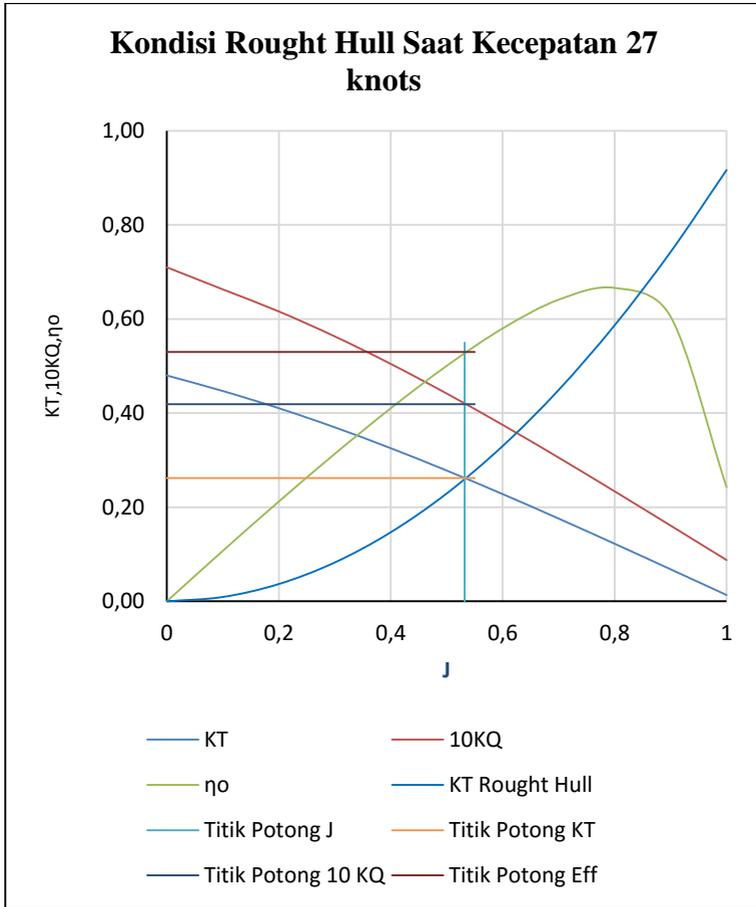
Gambar 4.12 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Rought Hhull Saat Kecepatan Kapal 25 Knots

Gambar 4.12 menunjukkan terjadinya perpotongan garis *KT rought hull* dan *KT propeller*. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *rought hull* saat kecepatan kapal 25 knots nilai *KT* sebesar 0,272 nilai *J* sebesar 0,512, nilai *KQ* sebesar 0,431 dan efisiensi sebesar 0,512.



Gambar 4.13 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Clean Hull Saat Kecepatan Kapal 27 Knots

Gambar 4.13 menunjukkan terjadinya perpotongan garis *KT clean hull* dan *KT propeller*. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *clean hull* saat kecepatan kapal 27 knot nilai *KT* sebesar 0,254 nilai *J* sebesar 0,550, nilai *KQ* sebesar 0,406 dan efisiensi sebesar 0,541.



Gambar 4.14 Grafik Hull Propeller Matching Pada Kondisi Rought Hull Saat Kecepatan Kapal 27 Knots

Gambar 4.14 menunjukkan terjadinya perpotongan garis *KT rough hull* dan *KT propeller*. Dari perpotongan tersebut menunjukkan pada kondisi *rough hull* saat kecepatan kapal 27 knots nilai *KT* sebesar 0,262 nilai *J* sebesar 0,532, nilai *KQ* sebesar 0,419 dan efisiensi sebesar 0,530.

Dari perpotongan kurva KT hull dan kurva KT Open Water Test propeller B5 90 didapat nilai J,KT,KQ dan η_o untuk setiap kondisi kecepatan operasional kapal seperti pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Nilai J,KT,KQ, η_o Pada Kondisi Clean Hull

Clean Hull Condition				
Kecepatan (Knot)	J	KT	η_o	KQ
12	0,535	0,259	0,530	0,0418
20	0,499	0,281	0,504	0,0443
25	0,528	0,264	0,525	0,0423
27	0,550	0,254	0,541	0,0406

Tabel 4.6 Nilai J,KT,KQ, η_o Pada Kondisi Rought Hull

Rought Hull Condition				
Kecepatan (Knot)	J	KT	η_o	KQ
12	0,536	0,262	0,5320	0,0417
20	0,485	0,287	0,4870	0,0451
25	0,512	0,272	0,5120	0,0431
27	0,532	0,262	0,5300	0,0419

4.4. Perhitungan Daya Motor Kapal

Dari nilai J,KT, dan KQ yang telah didapat kebutuhan daya untuk kapal beroperasi pada setiap kecepatan operasional dapat di dilakukan perhitungan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_s (1-w) \\
 n_{\text{propeller}} &= \frac{V_a}{J \times D} \\
 Q &= KQ \times n^2 \times D^5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= 2 \pi \times Q \times n \\ \text{BHP} &= \text{DHP}/(\eta_s \times \eta_G) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan formula di atas berikut perhitungan kebutuhan daya saat kapal beroperasi dengan kecepatan 12 knots pada kondisi clean hull:

$$\begin{aligned} V_s &= 12 \text{ knots} \\ &= 6,172 \text{ m/s} \\ V_a &= V_s(1-w) \\ &= 6,172(1-0,171) \\ &= 5,119 \text{ m/s} \\ n_{\text{propeller}} &= \frac{5,119}{0,535 \times 1,308} \\ &= 7,315 \text{ rps} \\ Q &= 0,0418 \times 7,315^2 \times 1,308^2 \\ &= 8,778 \text{ kN} \\ \text{DHP} &= 2 \times 3,14 \times 8,778 \times 7,315 \\ &= 403,26 \text{ kW} \\ \text{BHP} &= \frac{403,26}{0,98 \times 0,98} \\ &= 419,888 \text{ kW} \\ \text{BHP}_{\text{Engine}} &= \frac{419,888}{2} \\ &= 209,944 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan di atas kebutuhan daya mesin penggerak kapal pada kecepatan operasional kapal 20 knots, 25 knots, dan 27 knots operasional seperti yang tertera pada Tabel 4.7. untuk kondisi *clean hull* dan Tabel 4.8. untuk kondisi *rough hull*.

Tabel 4.7 Kebutuhan Daya Kapal Untuk Beroperasi Pada Setiap Kecepatan Operasional Kondisi Clean Hull

Kebutuhan Power pada Kondisi Clean Hull								
Vs (knots)	Va (m/s)	n prop (rps)	Q	DHP	BHP	BHP	n prop (rpm)	n engine (rpm)
			($KQ \rho n^2 D^5$)	($2\pi Qn$)	(kW)	engine		
12	5,119	7,315	8,778	403,26	419,888	209,944	438,91	877,83
20	8,532	13,072	29,705	2438,48	2539,026	1269,513	784,30	1568,60
25	10,665	15,442	39,584	3838,71	3996,996	1998,498	926,53	1853,06
27	11,518	16,010	40,841	4106,36	4275,672	2137,836	960,63	1921,25

Tabel 4.8 Kebutuhan Daya Kapal Untuk Beroperasi Pada Setiap Kecepatan Operasional Kondisi Rought Hull

Kebutuhan Power pada Kondisi Rought Hull								
Vs (knots)	Va (m/s)	n prop (rps)	Q	DHP	BHP	BHP	n prop (rpm)	n engine (rpm)
			($KQ \rho n^2 D^5$)	($2\pi Qn$)	(kW)	engine		
12	5,119	7,302	8,724	400,049	416,544	208,272	438,096	876,19
20	8,532	13,449	32,012	2703,763	2815,246	1407,623	806,940	1613,88
25	10,665	15,925	42,893	4289,579	4466,450	2233,225	955,483	1910,97
27	11,518	16,552	45,049	4682,714	4875,796	2437,898	993,128	1986,26

Pada perencanaan ini mode elektrik dioperasikan pada kecepatan operasional 12 knots dan mode PTO dioperasikan pada kecepatan operasional 20 knots dan 25 knots dan mode mekanis dioperasikan pada kecepatan operasional 27 knots. Dari perhitungan kebutuhan daya engine tersebut untuk menunjang mode operasional mekanis motor penggerak utama menggunakan *diesel engine* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Merk : MTU
Tipe : 16 V 4000 M 90
Daya dan putaran : 2720 kW dan 2100 rpm
Lx B x T : 3583 mm x 1520 mm x 1590 mm
Berat : 8920 kg
Jumlah : 2 buah

Untuk menunjang mode operasional elektris motor penggerak utama motor listrik dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merk : SIEMENS PM motor generator

Type : 1FV5168 8WS24

Power max : 260 KW

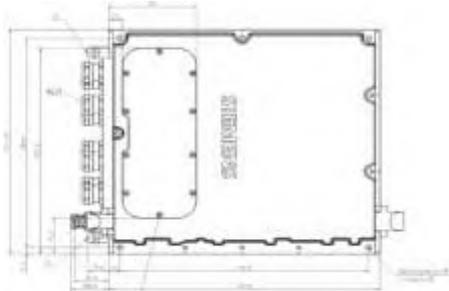
Speed max : 4000 RPM

Voltage : 625 Volt

Current : 260 Amphere

Lenght x Width x High : 590 x 300 x 300 [mm]

Dimensi frekuensi inverter yang digunakan pada perencanaan kali ini seperti Gambar 4.15:



Gambar 4.15 Dimesi Frekuensi Inverter

Dimensi :

Panjang : 495 mm

Lebar : 415 mm

Tinggi : 180 mm

Berat : 25 kg

Maksimal output power : 300 KVA

4.5. Perhitungan Kapasitas Generator

Dalam merencanakan sistem kelistrikan perlu diperhatikan kapasitas dari generator dan peralatan listrik lainnya, besarnya kebutuhan maksimum dan minimum dari peralatannya. Kebutuhan maksimum merupakan kebutuhan daya rerata terbesar yang terjadi pada interval waktu yang singkat selama periode kerja dari peralatan tersebut, dan sebaliknya.

Untuk kebutuhan maksimum digunakan sebagai acuan dalam menentukan kapasitas generator. Dan untuk kebutuhan minimum digunakan sebagai acuan untuk menentukan konfigurasi dari *electric plan* yang sesuai serta untuk menentukan kapan generator dioperasikan. Pada perencanaan kali ini kapal kecepatan operasional kapal bervariasi dimana masing-masing kecepatan operasional membutuhkan daya listrik berbeda-beda seperti yang tertera pada tabel 4.7. Perbedaan kebutuhan listrik ini tergantung dari misi yang dijalankan kapal, saat beroperasi pada kecepatan 12 knot kapal melakukan pengintaian dimana pada kondisi ini kapal beroperasi menggunakan mode elektrik. Pada saat kapal beroperasi menggunakan mode elektrik penggerak utama menggunakan motor listrik sehingga kebutuhan daya listrik lebih besar. Pada saat kapal beroperasi pada kecepatan 12 knots kebutuhan listrik di kapal sebesar 954,25 kW.

Pada kecepatan operasional kapal 20 knot dan 25 knot kapal beroperasi menggunakan mode PTO dimana penggerak utama menggunakan main engine dan sebagian daya dari main engine digunakan untuk memutar generator. Pada perencanaan ini motor listrik menggunakan motor yang menggunakan magnet permanen dimana motor tersebut juga dapat digunakan sebagai generator. Listrik yang dihasilkan dari motor generator digunakan untuk mengurangi beban listrik generator utama. Beban listrik pada kapal saat kapal beroperasi dengan kecepatan 20 knots dan 25 knots sebesar 625,15 kW. Pada kecepatan operasional kapal 27 knot kapal melakukan misi pengejaran atau bertempur. Pada kondisi operasional ini menggunakan main engine sebagai penggerak utama. Pada operasional ini peralatan tempur dalam kondisi siap. Beban listrik di kapal saat kecepatan operasional kapal 27 knots sebesar 594 kW.

Pada perencanaan ini daya nyata maksimal generator yang digunakan sebesar 259,6 kW. Dari Perhitungan yang telah dilakukan dengan kapasitas maksimum generator 259,6 kW. Dengan kapasitas generator 259,6 saat kecepatan operasional kapal 12 knot generator yang dioperasikan 2 buah dengan beban yang

diterima generator 90%, pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot generator yang dioperasikan 2 buah dengan beban yang diterima generator 80%, pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot generator yang dioperasikan 2 buah dengan beban yang diterima generator 80%, pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot generator yang dioperasikan 2 buah dengan beban yang diterima generator 56%. Perhitungan beban listrik di kapal sebagaimana tercantum pada tabel 4.9, untuk detail beban listrik pada asing-masing item tertera pada lampiran.

Tabel 4.9 Kebutuhan Daya Listrik Pada Kapal Fast Patrol Boat 60 m

ITEM		KECEPATAN OPERASIONAL			
		12 knot	20 knot	25 knot	27 knot
ENGINE ROOM	<i>Continue load</i>	374,63	44,43	44,43	19,78
	<i>Intermitten load</i>	47,36	49,57	49,57	11,28
NAVIGATION	<i>Continue load</i>	362,87	362,87	362,87	362,87
	<i>Intermitten load</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
GALLEY	<i>Continue load</i>	0,68	0,68	0,68	0,68
	<i>Intermitten load</i>	12,53	12,53	12,53	0,00
PANTRY	<i>Continue load</i>	0,68	0,68	0,68	0,68
	<i>Intermitten load</i>	2,80	2,80	2,80	0,00
LAUNDRY	<i>Continue load</i>	19,55	19,55	19,55	0,00
	<i>Intermitten load</i>	12,75	12,75	12,75	0,00
ENGINE ROOM (NEW)	<i>Continue load</i>	27,55	27,55	27,55	0,00
	<i>Intermitten load</i>	2,00	2,00	2,00	0,00
WEAPON SYSTEM	<i>Continue load</i>	0,00	0,00	0,00	74,90
	<i>Intermitten load</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
AC & VENTILATION	<i>Continue load</i>	60,65	60,65	60,65	62,35
	<i>Intermitten load</i>	1,70	1,70	1,70	0,00
LIGHTING	<i>Continue load</i>	69,09	69,09	69,09	69,09
	<i>Intermitten load</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Penggunaan daya	<i>Continue load</i>	914,68	584,48	584,48	589,00
	<i>Intermitten load</i>	79,13	81,34	81,34	11,28
Faktor diversitas	0,5 x (d) intrmttn	39,57	40,67	40,67	5,64
Jumlah beban	(d) continue + (e)	954,25	625,15	625,15	595,00
NO OF UNIT * OUTPUT OF GENERATOR		(2 X 529,6) kW	529,6 + 200kW	(529,6 + 200)kW	(2 X 529,6) kW
PERCENTAGE		90%	80%	80%	56%

Dari perhitungan yang telah dilakukan adapun spesifikasi generator set yang digunakan sebagai berikut:

Merk : MTU generator set
 Type : 12V1600 DS730
 Tegangan : 400 V
 Frekuensi : 50 Hz
 Daya maksimum : 662 kVA**
 529,6 kWel*

Dimana :

* = $\cos \phi$ 1,0

** = $\cos \phi$ 0,8

4.6. Analisa Performance

Analisa performance dilakukan untuk mengetahui efisiensi penggunaan bakar dari penerapan sistem propulsi hybrid jika dibandingkan dengan penerapan sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi elektrik pada kapal Fast patroli boat 60 m. Analisa performance dilakukan juga untuk memnentukan konfigurasi yang tepat pada sistem propulsi hybrid untuk mendapatkan nilai konsumsi bahan bakar paling rendah per tahun dengan profil operasional kapal sesuai misi yang dijalankan kapal Fast patroli boat 60m seperti yang tertera pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Profile Operasional Kapal

Misi Operasi Kapal	Kecepatan (Knots)	Kebutuhan Power (kW)	Operasi (jam/tahun)
Patroli Lambat	12	208	1000
Patroli Cepat	20	1408	1125
Penjelajahan	25	2233	250
Pengejaran	27	2438	125

4.6.1. Sistem Propulsi Mekanis

Sistem propulsi mekanis menggunakan diesel engine sebagai penggerak utama kapal. Diesel generator digunakan sebagai penggerak generator untuk menyuplai kebutuhan listrik di kapal. Analisa performace penerapan sistem propulsi mekanis

dilakukan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar *main engine* dan diesel generator dalam satu tahun. Berikut spesifikasi main engine dan diesel generator set yang digunakan :

a. Main Engine

Jumlah	: 2
Type	: 16V 4000 M93
Silinder	: 16
Daya maksimal	: 2720 kW
Putaran maksimal	: 2200 rpm

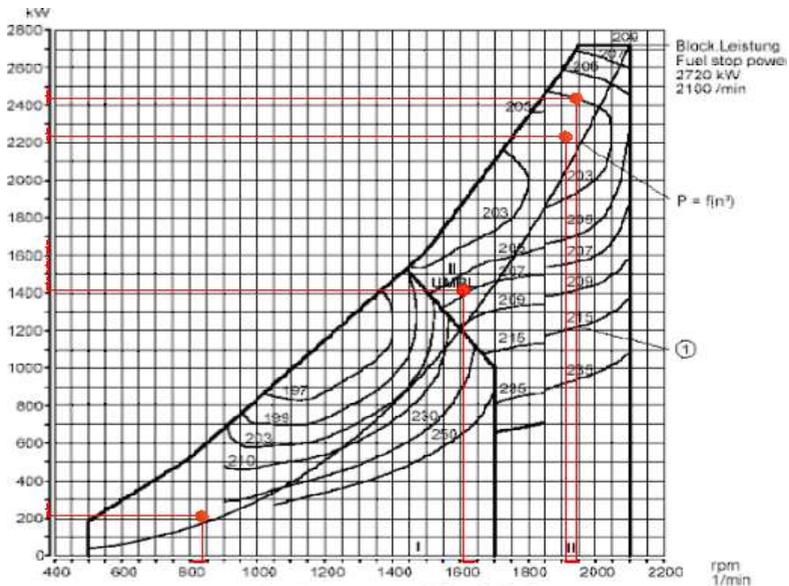
b. Diesel Generator Set

Jumlah	: 3
Type	: 10V 1600G 10F
Silinder	: 10
Putaran rata-rata	: 1500 rpm
Power maksimal	: 407 kWm
Konsumsi bahan bakar diesel generator 10V 1600G 10F berdasarkan beban yang diterima seperti yang tertera pada Tabel 4.11.	

Tabel 4.11 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Power Rating Diesel Generator 10V 1600G 10F

Power Rating	Konsumsi Bahan Bakar (l/h)
100 %	101,75
75 %	80,22
50 %	55,37

Dari project guide spesifikasi engine di atas dilakukan engine propeller matching untuk mengetahui operasional engine pada engine envelope yang telah di buat oleh engine maker. Dari analisa engine propeller matching ini diketahui nilai SFOC *main engine* pada masing-masing kecepatan operasional kapal, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Mekanis

Dari analisa engine propeller matching diketahui ketika kecepatan operasional kapal 12 knot SFOC engine 250 g/kWh, pada kecepatan 20 knot SFOC engine 207 g/kWh, pada kecepatan 25 knot SFOC engine 203 g/kWh, dan pada kecepatan 27 knot SFOC engine 203 g/kWh. Dari SFOC yang telah diketahui pada setiap kecepatan operasional kapal, konsumsi bahan bakar engine dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 12 knot

$$FC_{ME} = \frac{SFOC \times P \times t}{\rho}$$

Dimana:

FC = Fuel Consumption

SFOC = Spesific Fuel Oil Consumption

P = Power

t = Time operasional

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{250 \times 208 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 125,013 \text{ liter/jam} \\
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 125,013 \times 1000 \\
 &= 125013 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Perhitungan konsumsi bahan bakar untuk Diesel generator dengan menggunakan metode interpolasi berdasarkan informasi konsumsi bahan bakar dari maker sesuai beban yang diterima diesel generator untuk menyuplai kebutuhan listrik di kapal. Pada saat kapal beroperasi dengan kecepatan 12 knot beban listrik kapal sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 diesel generator beroperasi 85,1% dari beban maksimal yang bisa diterima oleh Diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= (80,22 + \frac{(101,75-80,22)(85,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\
 &= (80,22 + 8,70) \times 2 \\
 &= 177,836 \text{ l/h} \\
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 177,836 \times 1000 \\
 &= 177836 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 20 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{207 \times 2233 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 699,587 \text{ liter/jam} \\
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 699,587 \times 1125 \\
 &= 787035 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 20 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 85,1% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= (80,22 + \frac{(101,75-80,22)(85,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\
 &= (80,22 + 8,70) \times 2 \\
 &= 177,836 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 177,836 \times 1125 \\
 &= 200066 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 25 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{207 \times 1408 \times 1}{833} \times 2
 \end{aligned}$$

$$= 1088,463 \text{ liter/jam}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1088,463 \times 250 \\
 &= 272116 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 25 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 85,1% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= (80,22 + \frac{(101,75-80,22)(85,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\
 &= (80,22 + 8,70) \times 2 \\
 &= 177,836 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 177,836 \times 250 \\
 &= 44459 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 27 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{207 \times 2438 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 118,219 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1088,463 \times 125 \\ &= 148527 \text{ liter} \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 27 knot sebesar 595 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 81 % dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} FC_{AE} &= \left(80,22 + \frac{(101,75 - 80,22)(81 - 75)}{(100 - 75)} \right) \times 2 \\ &= (80,22 + 5,167) \times 2 \\ &= 170,774 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 170,774 \times 125 \\ &= 21347 \text{ liter} \end{aligned}$$

Jumlah konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m dalam satu tahun untuk menjalankan semua misinya apabila menggunakan sistem propulsi mekanis dengan spesifikasi main engine dan diesel engine yang telah disebutkan sebesar 1776399 liter, seperti yang tertera pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Mekanis

Misi	Kecepatan	Komponen	BHP	Load	SFC	FC	Operasi	FC	DG'S running
	Knot		kW	%	gr/kWh	l/h	h/year	l/year	
Patroli Lambat	12	ME	208	7,7	250	125,013	1000	125013	2
		DG	594	85,1		177,878	1000	177878	
Patroli Cepat	20	ME	1408	51,8	207	699,587	1125	787035	2
		DG	425,15	85,1		177,878	1125	200113	
Penjelajahan	25	ME	2233	82,1	203	1088,463	250	272116	2
		DG	425,15	85,1		177,878	250	44470	
Pengejaran	27	ME	2438	89,6	203	1188,219	125	148527	2
		DG	595	81,0		170,799	125	21350	
Jumlah konsumsi bahan bakar per tahun							1776501,7	liter	

4.6.2. Sistem Propulsi Elektris

Sistem propulsi listrik menggunakan motor listrik sebagai penggerak utamanya. Kebutuhan listrik untuk motor listrik di suplai oleh generator set kapal. Pada perencanaan kali ini sistem propulsi mekanis mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Muhammad Halim. Berikut spesifikasi motor listrik dan diesel generator set yang digunakan :

a. Motor Listrik

Merk	: ABB Induction Motor
Type	: AMA 500L2L
Daya output maksimal	: 2500 kW
Putaran maksimal	: 2984 rpm
Voltage	: 6000 V
Current	: 277 A
Berat	: 5790 kg
Panjang x Lebar x Tinggi	: 2485mm x 1605 mm x 2070 mm

b. Diesel Generator Set

Jumlah	: 4
Type	: 12V4000G63
Silinder	: 12
Putaran rata-rata	: 1500 rpm
Power maksimal	: 1575 kWm
Konsumsi bahan bakar diesel generator 12V4000G63 berdasarkan beban yang diterima seperti yang tertera pada Tabel 4.13.	

Tabel 4.13 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Power Rating Diesel Generator 12V4000G63

Power Rating	Konsumsi Bahan Bakar (l/h)
100 %	364.3
75 %	274.7
50 %	189.8

Dengan menggunakan sistem propulsi listrik konsumsi bahan bakar hanya untuk diesel generator set. Perhitungan bahan bakar pada perencanaan ini dilakukan dengan metode interpolasi seperti pada perhitungan konsumsi bahan bakar generator set sistem propulsi mekanis pada sebelumnya.

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 12 knot

Pada saat kapal beroperasi dengan kecepatan 12 knot beban listrik kapal untuk propulsi maupun untuk kelistrikan di kapal sebesar 1036,19 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut jumlah diesel generator set yang beroperasi 1 buah dengan beban yang diterima 70% dari daya maksimal yang bisa dihasilkan oleh Diesel generator set.

$$\begin{aligned} FC &= (189,8 + \frac{(274,7 - 189,8)(70 - 50)}{(75 - 50)}) \times 2 \\ &= (189,8 + 67,9) \times 2 \\ &= 257,7 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC \text{ satu tahun} &= 257,720 \times 1000 \\ &= 257720 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 20 knot

Beban listrik pada kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot sebesar 3469,95 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 3 buah generator beroperasi pada 78,2 % dari beban maksimal yang bisa dihasilkan oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} FC &= (274,7 + \frac{(364,3 - 274,7)(78,2 - 75)}{(100 - 75)}) \times 3 \\ &= (274,7 + 11,5) \times 3 \\ &= 858,506 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC \text{ satu tahun} &= 858,5 \times 1125 \\ &= 965820 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 25 knot

Beban listrik pada kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada saat kecepatan operasional kapal 25 knot sebesar 5146,29 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 4 buah generator

beroperasi pada 86,9 % dari beban maksimal yang bisa dihasilkan oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} \text{FC} &= (274,7 + \frac{(364,3 - 274,7)(86,9 - 75)}{(100 - 75)}) \times 4 \\ &= (274,7 + 42,6) \times 4 \\ &= 1269,4 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FC satu tahun} &= 1269,4 \times 250 \\ &= 317350 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional 27 knot
Beban listrik pada kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada saat kecepatan operasional kapal 27 knot sebesar 5536 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 4 buah generator beroperasi pada 93,5 % dari beban maksimal yang bisa dihasilkan oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} \text{FC} &= (274,7 + \frac{(364,3 - 274,7)(93,5 - 75)}{(100 - 75)}) \times 4 \\ &= (274,7 + 66,3) \times 4 \\ &= 1364 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FC satu tahun} &= 1364 \times 250 \\ &= 170502 \text{ liter} \end{aligned}$$

Jumlah konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m dalam satu tahun untuk menjalankan semua misinya apabila menggunakan sistem propulsi elektris dengan spesifikasi motor listrik dan diesel generator set yang telah disebutkan sebesar 1711391,3 liter, seperti yang tertera pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Elektris

Misi	Kecepatan	Komponen	BHP	Load	SFC	FC	Operasi	FC	DG'S running
	Knot		kW	%	gr/kWh	l/h	h/year	l/year	
Patroli Lambat	12	DG	1029,8	70,0		257,764	1000	257764	1
		EM	208					1000	
Patroli Cepat	20	DG	3427,07	78,2		857,989	1125	965238	3
		EM	1408					1125	
Penjelajahan	25	DG	5078	86,9		1269,838	250	317459	4
		EM	2233					250	
Pengejaran	27	DG	5556,2	93,5		1364,200	125	170525	4
		EM	4876					125	
Jumlah konsumsi bahan bakar per tahun							1710986,9	liter	

4.6.3. Sistem Propulsi Hybrid

Sistem propulsi hybrid menggabungkan sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi elektrik dimana sebagai penggerak utamanya menggunakan motor listrik dan *diesel engine*. Pada perencanaan ini dilakukan analisa performance untuk mengetahui konfigurasi yang paling tepat untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar paling rendah setiap tahunnya pada operasional kapal. Kebutuhan listrik pada sistem propulsi hybrid ini pada saat mode mekanis dan mode elektrik di suplai oleh diesel generator, pada saat mode PTO disuplai oleh diesel generator dan motor generator. Untuk motor listrik di suplai oleh generator set kapal. Berikut spesifikasi motor listrik, main engine digunakan dan generator set yang digunakan :

a. Main Engine

Jumlah	: 2
Type	: 16V 4000 M93
Silinder	: 16
Daya maksimal	: 2720 kW
Putaran maksimal	: 2200 rpm

b. Motor Listrik

Merk	: SIEMENS PM Motor Generator
Type	: 1FV5168 8WS24
Daya ouput maksimal	: 260 kW
Putaran maksimal	: 4000 rpm
Voltage	: 650 V
Current	: 265 A
Berat	: 180 kg
Panjang x Lebar x Tinggi	: 590 mm x 300 mm x 300 mm

c. Diesel Generator Set

Jumlah	: 3
Type	: 12V1600G20F
Silinder	: 12
Putaran rata-rata	: 1500 rpm
Power maksimal	: 576 kWm
Konsumsi bahan bakar diesel generator 12V1600G20F berdasarkan beban yang diterima seperti yang tertera pada Tabel 4.15.	

Tabel 4.15 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Power Ranting Diesel Generator 12V1600G20F

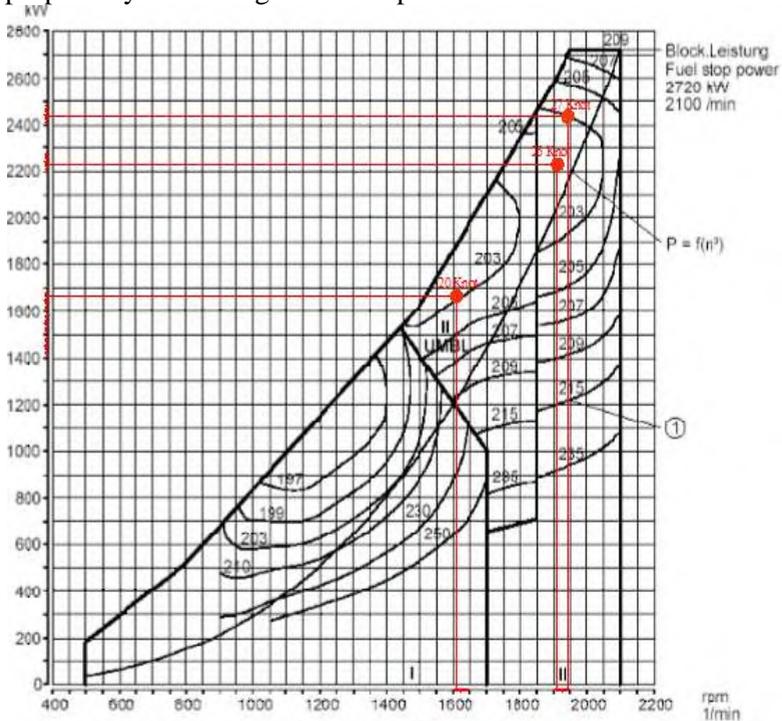
Power Rating	Konsumsi Bahan Bakar (l/h)
100 %	128.6
75 %	98.96
50 %	68.99

Pada perencanaan sistem propulsi hybrid dilakukan analisa dengan skenario beberapa konfigurasi. Perbedaan pada masing-masing konfigurasi pada mode PTO dimana pada mode PTO tersebut dilakukan optimalisasi untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar paling rendah.

1. Konfigurasi 1

Skenario konfigurasi 1 pada saat kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan menggunakan mode elektrik pada

saat kecepatan operasional kapal 20 knot menggunakan mode PTO dengan pembebanan terhadap masing-masing motor generator sebesar 250 kW. Dengan pembebanan tersebut main engine beroperasi pada daya 1663 kW dan putaran 807 rpm. Pada saat kecepatan operasional kapal 25 knot dan 27 knot kapal beroperasi dengan menggunakan mode mekanik. Engine envelope dari sistem propulsi hybrid konfigurasi ini seperti Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 1

Dari analisa engine propeller matching tersebut diketahui ketika pada kecepatan 20 knot SFOC engine 203 g/kWh, pada kecepatan 25 knot SFOC engine 203 g/kWh, dan pada kecepatan 27 knot

SFOC engine 203 g/kWh. Dari SFOC yang telah diketahui pada setiap kecepatan operasional kapal, konsumsi bahan bakar engine dapat dilakukan perhitungan.

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 12 knot
 Pada kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan mode elektris dimana motor listrik sebagai penggerak utamanya. Beban listrik kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada kecepatan operasional 12 knot sebesar 954,25 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah Diesel generator set beroperasi pada power rating 90,1% dari kapasitas maksimal yang bisa disuplai oleh genset.

$$\begin{aligned} FC &= (98,96 + \frac{(128,6-98,96)(90,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\ &= (274,7 + 17,9) \times 2 \\ &= 233,73 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC \text{ satu tahun} &= 233,725 \times 1000 \\ &= 233725 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 20 knot

$$\begin{aligned} FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\ FC_{ME} &= \frac{203 \times 1663 \times 1}{833} \times 2 \\ &= 810,35 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 810,35 \times 1125 \\ &= 911648 \text{ liter} \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 20 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut masing-masing motor generator menyuplai energi listrik sebesar 250 kW dan ditambah 1 buah generator beroperasi pada 23,6% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$FC_{AE} = 68,99 + \frac{(98,96-80,22)(85,1-75)}{(100-75)}$$

$$\begin{aligned}
 &= (80,22 + 8,70) \times 2 \\
 &= 177,836 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 177,836 \times 1125 \\
 &= 200066 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 25 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{203 \times 2233 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 1138,177 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1138,177 \times 250 \\
 &= 284588 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 25 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 59% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= (68,99 + \frac{(98,96 - 68,99)(59 - 50)}{(75 - 50)}) \times 2 \\
 &= (68,99 + 10,79) \times 2 \\
 &= 159,56 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 159,56 \times 250 \\
 &= 39889,6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 27 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{203 \times 2348 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 1188,219 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1188,219 \times 125 \\
 &= 148527 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 25 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 59% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= (68,99 + \frac{(98,96 - 68,99)(59 - 50)}{(75 - 50)}) \times 2 \\
 &= (68,99 + 7,43) \times 2 \\
 &= 152,85 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 152,85 \times 125 \\
 &= 19105,6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

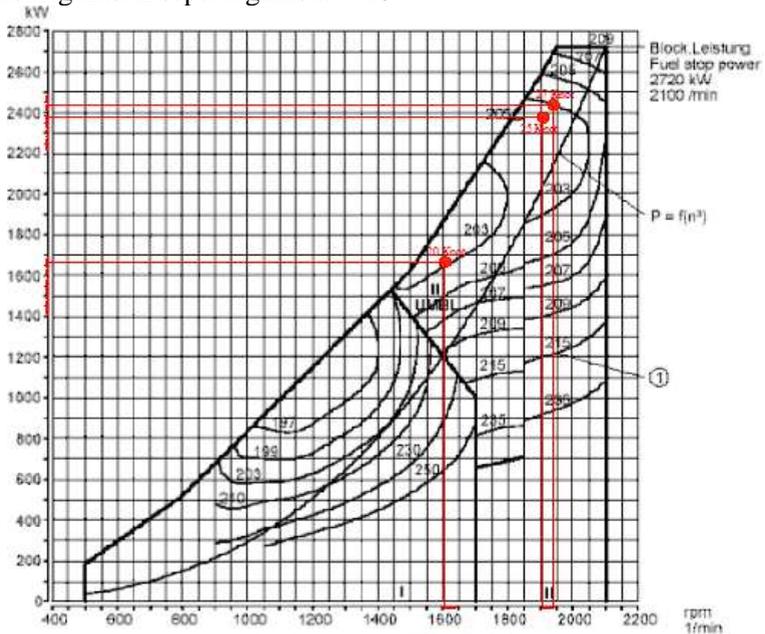
Jumlah konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m dalam satu tahun untuk menjalankan semua misinya apabila menggunakan sistem propulsi hybrid dengan konfigurasi 1 sebesar 1680213,1 liter, seperti yang tertera pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 1

Misi	Kecepatan	Komponen	BHP	Load	SFC	FC	Operasi	FC	DG'S running
	Knot		kW	%	gr/kWh	l/h	h/year	l/year	
Patroli Lambat	12	ME	0	0	0	0	1000	0	2
		DG	594	90,1		233,73	1000	233725	
		EM	-344				1000		
patroli Cepat	20	ME	1663	61,1	203	810,35	1125	911648	1
		DG	125,15	23,6		38,02	1125	42772,7	
		EM	500				1125		
Penjelajahan	25	ME	2233	82,1	203	1138,177	250	284544	2
		DG	625,15	59,0		159,56	250	39889,6	
		EM	0				250		
Pengejaran	27	ME	2437,90	89,6	203	1188,219	125	148527	2
		DG	595	56,2		152,85	125	19105,6	
		EM	0				125		
Jumlah konsumsi bahan bakar per tahun							1680213,1		liter

2. Konfigurasi 2

Skenario konfigurasi 2 pada saat kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan menggunakan mode elektrik pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot menggunakan mode PTO dengan pembebanan terhadap masing-masing motor generator sebesar 250 kW. Dengan pembebanan tersebut main engine beroperasi pada daya 1663 kW dan putaran 807 rpm. Pada saat kecepatan operasional kapal 25 knot kapal beroperasi dengan menggunakan mode PTO juga dengan pembebanan masing-masing motor generator sebesar 150 kW dimana main engine untuk memenuhi pembebanan motor generator tersebut beroperasi pada daya 2385 kW dan putaran 955 rpm. Pada saat kecepatan operasional kapal 27 knot kapal beroperasi dengan menggunakan mode mekanik. Engine envelope dari sistem propulsi hybrid konfigurasi 2 seperti gambar 4.18.



Dari analisa engine propeller matching tersebut diketahui ketika pada kecepatan 20 knot SFOC engine 203 g/kWh, pada kecepatan 25 knot SFOC engine 203 g/kWh, dan pada kecepatan 27 knot SFOC engine 203 g/kWh. Dari SFOC yang telah diketahui pada setiap kecepatan operasional kapal, konsumsi bahan bakar engine dapat dilakukan perhitungan.

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 12 knot
 Pada kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan mode elektrik dimana motor listrik sebagai penggerak utamanya. Beban listrik kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada kecepatan operasional 12 knot sebesar 954,25 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah Diesel generator set beroperasi pada power rating 90,1% dari kapasitas maksimal yang bisa disuplai oleh genset.

$$\begin{aligned} FC &= (98,96 + \frac{(128,6-98,96)(90,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\ &= (274,7 + 17,9) \times 2 \\ &= 233,73 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC \text{ satu tahun} &= 233,725 \times 1000 \\ &= 233725 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 20 knot

$$\begin{aligned} FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\ FC_{ME} &= \frac{203 \times 1663 \times 1}{833} \times 2 \\ &= 810,35 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 810,35 \times 1125 \\ &= 911648 \text{ liter} \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 20 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut masing-masing motor generator menyuplai energi listrik sebesar

250 kW dan ditambah 1 buah generator beroperasi pada 23,6% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} FC_{AE} &= 68,99 + \frac{(98,96-80,22)(85,1-75)}{(100-75)} \\ &= (80,22 + 8,70) \times 2 \\ &= 37,34 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 37,34 \times 1125 \\ &= 42009,4 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 25 knot

$$\begin{aligned} FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\ FC_{ME} &= \frac{203 \times 2385 \times 1}{833} \times 2 \\ &= 1212,261 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1212,261 \times 250 \\ &= 303065 \text{ liter} \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 25 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 59% dari beban maksimal yang diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} FC_{AE} &= 68,99 + \frac{(98,96-68,99)(61,4-50)}{(75-50)} \\ &= 68,99 + 13,67 \\ &= 82,66 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 82,66 \times 250 \\ &= 20664,1 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 27 knot

$$\begin{aligned} FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\ FC_{ME} &= \frac{203 \times 2438 \times 1}{833} \times 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1188,219 \text{ liter/jam} \\
 \text{FC}_{\text{ME}} \text{ satu tahun} &= 1188,219 \times 125 \\
 &= 148527 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 27 knot sebesar 595 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 56,2% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 \text{FC}_{\text{AE}} &= (68,99 + \frac{(98,96 - 68,99)(56,2 - 50)}{(75 - 50)}) \times 2 \\
 &= (68,99 + 7,43) \times 2 \\
 &= 152,85 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FC}_{\text{AE}} \text{ satu tahun} &= 152,85 \times 125 \\
 &= 19105,6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

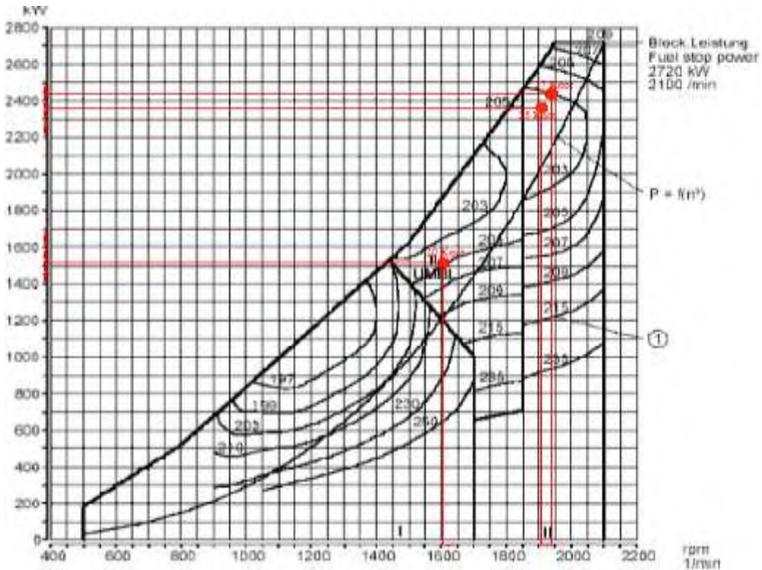
Jumlah konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m dalam satu tahun untuk menjalankan semua misinya apabila menggunakan sistem propulsi hybrid dengan konfigurasi 1 sebesar 1678745,3 liter, seperti yang tertera pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 2

Misi	Kecepatan Knot	Komponen	BHP kW	Load %	SFC gr/kWh	FC l/h	Operasi h/year	FC l/year	DG'S running
Patroli Lambat	12	ME	0	0	0	0	1000	0	2
		DG	594	90,1		233,73	1000	233725	
		EM	-344				1000		
patroli Cepat	20	ME	1663	61,1	203	810,35	1125	911648	1
		DG	125,15	23,6		37,34	1125	42009,4	
		EM	500				1125		
Penjelajahan	25	ME	2385,23	87,7	203	1212,261	250	303065	1
		DG	325,15	61,4		82,66	250	20664,1	
		EM	300				250		
Pengejaran	27	ME	2438	89,6	203	1188,219	125	148527	2
		DG	595	56,2		152,85	125	19105,6	
		EM	0				125		
Jumlah konsumsi bahan bakar per tahun						1678745,3		liter	

3. Konfigurasi 3

Skenario konfigurasi pada saat kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan menggunakan mode elektrik pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot menggunakan mode PTO dengan pembebanan terhadap masing-masing motor generator sebesar 100 kW. Dengan pembebanan tersebut main engine beroperasi pada daya 1510 kW dan putaran 807 rpm. Pada saat kecepatan operasional kapal 25 knot kapal beroperasi dengan menggunakan mode PTO juga dengan pembebanan masing-masing motor generator sebesar 100 kW dimana main engine untuk memenuhi pembebanan motor generator tersebut beroperasi pada daya 2335 kW dan putaran 955 rpm. Pada saat kecepatan operasional kapal 27 knot kapal beroperasi dengan menggunakan mode mekanik. Engine envelope dari sistem propulsi hybrid konfigurasi 3 seperti gambar 4.19.



Gambar 4.19 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 3

Dari analisa engine propeller matching tersebut diketahui ketika pada kecepatan 20 knot SFOC engine 206 g/kWh, pada kecepatan 25 knot SFOC engine 203 g/kWh, dan pada kecepatan 27 knot SFOC engine 203 g/kWh. Dari SFOC yang telah diketahui pada setiap kecepatan operasional kapal, konsumsi bahan bakar engine dapat dilakukan perhitungan.

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 12 knot
 Pada kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan mode elektrik dimana motor listrik sebagai penggerak utamanya. Beban listrik kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada kecepatan operasional 12 knot sebesar 954,25 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah Diesel generator set beroperasi pada power rating 90,1% dari kapasitas maksimal yang bisa disuplai oleh genset.

$$\begin{aligned} FC &= (98,96 + \frac{(128,6-98,96)(90,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\ &= (274,7 + 17,9) \times 2 \\ &= 233,73 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC \text{ satu tahun} &= 233,725 \times 1000 \\ &= 233725 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 20 knot

$$\begin{aligned} FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\ FC_{ME} &= \frac{206 \times 1510 \times 1}{833} \times 2 \\ &= 746,7 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 746,7 \times 1125 \\ &= 839988,4 \text{ liter} \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 20 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut masing-masing motor generator menyuplai energi listrik sebesar 100 kW dan ditambah 1 buah generator beroperasi pada 80,3% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= 98,96 + \frac{(128,6-98,96)(80,3-75)}{(100-75)} \\
 &= 98,96 + 6,28 \\
 &= 105,24 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 105,24 \times 1125 \\
 &= 118399,1 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 25 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{203 \times 2335 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 1138,2 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1138,2 \times 250 \\
 &= 284544,2 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 25 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut masing-masing motor generator menyuplai energi listrik 100 kW ditambah 1 buah generator beroperasi pada 80,3% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= 98,96 + \frac{(128,6-98,96)(80,3-75)}{(100-75)} \\
 &= 98,96 + 6,28 \\
 &= 105,24 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 105,24 \times 250 \\
 &= 29310,92 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 27 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{203 \times 2438 \times 1}{833} \times 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1188,219 \text{ liter/jam} \\
 \text{FC}_{\text{ME}} \text{ satu tahun} &= 1188,219 \times 125 \\
 &= 148527 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 27 knot sebesar 595 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 56,2% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 \text{FC}_{\text{AE}} &= (68,99 + \frac{(98,96 - 68,99)(56,2 - 50)}{(75 - 50)}) \times 2 \\
 &= (68,99 + 7,43) \times 2 \\
 &= 152,85 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FC}_{\text{AE}} \text{ satu tahun} &= 152,85 \times 125 \\
 &= 19105,6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

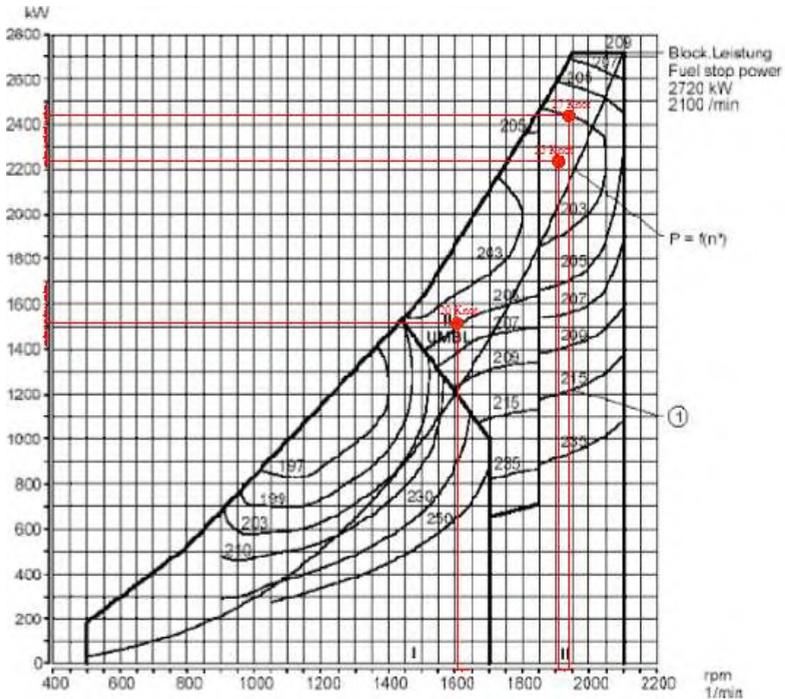
Jumlah konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m dalam satu tahun untuk menjalankan semua misinya apabila menggunakan sistem propulsi hybrid dengan konfigurasi 1 sebesar 1670600,9 liter, seperti yang tertera pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 3

Misi	Kecepatan	Komponen	BHP	Load	SFC	FC	Operasi	FC	DG'S running
	Knot		kW	%	gr/kWh	l/h	h/year	l/year	
Patroli Lambat	12	ME	0	0	0	0,00	1000	0	2
		DG	594	90,1		233,705	1000	233704,6	
		EM	-344				1000		
patroli Cepat	20	ME	1510	55,5	205	743,032	1125	835910,8	1
		DG	425,15	80,3		105,218	1125	118369,8	
		EM	100				1125		
Penjelajahan	25	ME	2335	85,9	203	1138,177	250	284544,2	1
		DG	425,15	80,3		105,218	250	26304,41	
		EM	100			1243,395	250		
Pengejaran	27	ME	2438	89,6	203	1188,219	125	148527,4	2
		DG	595	56,2		152,777	125	19097,14	
		EM	0			1340,996	125		
Jumlah konsumsi bahan bakar per tahun						1666458,4		liter	

4. Konfigurasi 4

Skenario konfigurasi 4 pada saat kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan menggunakan mode elektrik pada saat kecepatan operasional kapal 20 knot menggunakan mode PTO dengan pembebanan terhadap masing-masing motor generator sebesar 100 kW. Dengan pembebanan tersebut main engine beroperasi pada daya 1510 kW dan putaran 807 rpm. Pada saat kecepatan operasional kapal 25 knot dan 27 knot kapal beroperasi dengan menggunakan mode mekanik. Engine envelope dari sistem propulsi hybrid konfigurasi 4 seperti gambar 4.20.



Gambar 4.20 Engine Propeller Matching Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 4

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 12 knot
 Pada kecepatan operasional kapal 12 knot, kapal beroperasi dengan mode elektrik dimana motor listrik sebagai penggerak utamanya. Beban listrik kapal untuk propulsi dan kelistrikan kapal pada kecepatan operasional 12 knot sebesar 954,25 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah Diesel generator set beroperasi pada power rating 90,1% dari kapasitas maksimal yang bisa disuplai oleh genset.

$$\begin{aligned} FC &= (98,96 + \frac{(128,6-98,96)(90,1-75)}{(100-75)}) \times 2 \\ &= (274,7 + 17,9) \times 2 \\ &= 233,73 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC \text{ satu tahun} &= 233,725 \times 1000 \\ &= 233725 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 20 knot

$$\begin{aligned} FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\ FC_{ME} &= \frac{205 \times 1510 \times 1}{833} \times 2 \\ &= 743,03 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 743,03 \times 1125 \\ &= 835910,8 \text{ liter} \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 20 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut masing-masing motor generator menyuplai energi listrik sebesar 100 kW dan ditambah 1 buah generator beroperasi pada 80,3% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned} FC_{AE} &= 98,96 + \frac{(128,6-98,96)(80,3-75)}{(100-75)} \\ &= 98,96 + 6,28 \\ &= 105,24 \text{ l/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 105,24 \times 1125 \\ &= 118399,1 \text{ liter} \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 25 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{203 \times 2233 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 1138,2 \text{ liter/jam} \\
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1138,2 \times 250 \\
 &= 284544,2 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 25 knot sebesar 625,15 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2 buah generator beroperasi pada 80,3% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= \left(68,99 + \frac{(98,96 - 68,99)(59 - 50)}{(75 - 50)} \right) \times 2 \\
 &= (68,99 + 10,79) \times 2 \\
 &= 159,56 \text{ l/h} \\
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 159,56 \times 250 \\
 &= 39889,6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Konsumsi bahan bakar kecepatan operasional kapal 27 knot

$$\begin{aligned}
 FC_{ME} &= \frac{SFOC \times P \times t}{\rho} \\
 FC_{ME} &= \frac{203 \times 2438 \times 1}{833} \times 2 \\
 &= 1188,219 \text{ liter/jam} \\
 FC_{ME} \text{ satu tahun} &= 1188,219 \times 125 \\
 &= 148527 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Beban listrik pada kapal pada kecepatan operasional 27 knot sebesar 595 kW. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut 2

buah generator beroperasi pada 56,2% dari beban maksimal yang mampu diterima oleh diesel generator.

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} &= (68,99 + \frac{(98,96 - 68,99)(56,2 - 50)}{(75 - 50)}) \times 2 \\
 &= (68,99 + 7,43) \times 2 \\
 &= 152,85 \text{ l/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FC_{AE} \text{ satu tahun} &= 152,85 \times 125 \\
 &= 19105,6 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Jumlah konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m dalam satu tahun untuk menjalankan semua misinya apabila menggunakan sistem propulsi hybrid dengan konfigurasi 1 sebesar 1667673,4 liter, seperti yang tertera pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Konsumsi Bahan Bakar Per Tahun Sistem Propulsi Hybrid Konfigurasi 4

Misi	Kecepatan	Komponen	BHP	Load	SFC	FC	Operasi	FC	DG'S running
	Knot		kW	%	gr/kWh	l/h	h/year	l/year	
Patroli Lambat	12	ME	0	0	0	0	1000	0	2
		DG	594	90,1		233,73	1000	233725,1	
		EM	-344				1000		
patroli Cepat	20	ME	1510	55,5	205	743,03	1125	835910,8	1
		DG	425,15	80,3		105,24	1125	118399,1	
		EM	100				1125		
Penjelajahan	25	ME	2233	82,1	203	1088,463	250	272115,7	2
		DG	425,15	59		159,56	250	39889,6	
		EM	0				250		
Pengejaran	27	ME	2438	89,6	203	1188,219	125	148527,4	2
		DG	595	56,2		152,85	125	19105,64	
		EM	0				125		
Jumlah konsumsi bahan bakar per tahun:							1667673,4	liter	

4.7. Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui prospek penggunaan sistem propulsi hybrid. Perhitungan ekonomis dilakukan dengan membandingkan cost penerapan sistem propulsi hybrid dengan cost penerapan sistem propulsi mekanis dan juga listrik pada kapal Fast patroli boat 60 m terkait capital cost dan operasional cost dalam waktu 30 tahun.

4.6.1. Perhitungan Initial Cost

Biaya awal atau *initial cost* adalah biaya yang dikeluarkan mulai awal pembangunan sampai pembangunan tersebut selesai (Tugino, 2004). Dalam menentukan besarnya nilai *initial cost*, maka harus diketahui seluruh item atau komponen yang akan dipasang dalam rangka menunjang sistem propulsi kapal. Nilai *initial cost* dari perencanaan system propulsi hybrid berupa harga main engine, electric motor, gearbox, diesel generator set, dan frekuensi konverter. Pada perencanaan ini harga masing-masing komponen berdasarkan harga per kW komponen. Komponen yang digunakan pada perencanaan sistem propulsi hybrid ini seperti yang telah disebutkan pada langkah analisa performance. Untuk detail perhitungannya seperti yang tertera pada tabel 4.20.

Tabel 4.20 Initial Cost Untuk Sistem Propulsi Hybrid

No.	Komponen	Jumlah	Nominal Kw	Harga (/kw)	Harga
1	2 MTU 16 V 4000 M 90	2	2720	€ 340,00	€ 1.849.600,00
2	Diesel Generator	3	576	€ 400,00	€ 691.200,00
3	Gear Box	2	2720	€ 30,00	€ 163.200,00
4	Motor/ generator	2	260	€ 50,00	€ 26.000,00
5	PWM Converter	2	260	€ 135,00	€ 70.200,00
Biaya investasi total					€ 2.800.200,00
					Rp 41.857.557.612,00

Dimana :

Kurs EUR to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 14,948.06/EUR
(www.bi.go.id)

Pada perencanaan kali ini dilakukan perbandingan penggunaan sistem propulsi hybrid dengan penggunaan sistem propulsi mekanis dan listrik guna mengetahui keekonomisan dari sistem propulsi hybrid. Spesifikasi komponen sistem propulsi mekanis pada perencanaan ini seperti yang telah disebutkan pada langkah analisa performance dimana sistem propulsi mekanis ini menggunakan 2 buah main engine kapasitas daya 2720 kW, 2 buah diesel generator kapasitas 407 kW serta 2 buah gearbox. Detail perhitungan besarnya nilai *initial cost* pada menggunakan sistem propulsi mekanis seperti yang tertera pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 *Initial Cost Sistem Propulsi Mekanis*

No.	Komponen	Jumlah	Nominal Kw	Harga (/kw)	Harga
1	2 MTU 16 V 4000 M 90	2	2720	€ 340,00	€ 1.849.600,00
2	Diesel Generator	3	407	€ 400,00	€ 488.400,00
3	Gear Box	2	2720	€ 30,00	€ 163.200,00
Biaya investasi total					€ 2.501.200,00
					Rp 37.388.087.672,00

Dimana :

Kurs EUR to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 14,948.06/EUR
(www.bi.go.id)

Sebagai pembanding perencanaan sistem propulsi hybrid nilai *initial cost* sistem propulsi listrik berupa biaya investasi untuk motor listrik, diesel generator set, gearbox, dan frekuensi konverter. Spesifikasi komponen sistem propulsi listrik seperti yang telah disebutkan pada langkah analisa

performance sebelumnya. Pada sistem propulsi listrik ini menggunakan 2 buah diesel generator set kapasitas 1575 kW, 2 buah gearbox, 2 buah konverter, dan 2 buah motor listrik. Detail perhitungan *initial cost* penggunaan sistem propulsi listrik seperti yang tertera pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 *Initial Cost Sistem Propulsi Listrik*

No.	Komponen	Jumlah	Nominal Kw	Harga (/kw)	Harga
2	Diesel Generator	4	1575	€ 400,00	€ 2.520.000,00
3	Gear Box	2	2500	€ 30,00	€ 150.000,00
4	PWM Converter	2	2501	€ 135,00	€ 675.270,00
5	Motor listrik	2	2500	€ 50,00	€ 250.000,00
Biaya investasi total					€ 3.595.270,00
					Rp 53.742.311.676,20

Dimana :

Kurs EUR to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 14,948.06/EUR
(www.bi.go.id)

4.6.2. Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar

Perhitungan biaya konsumsi bahan bakar kapal Fast Patroli Boat 60 m meliputi konsumsi bahan bakar pada saat kapal beroperasi di laut. Untuk mengetahui keekonomisan sistem propulsi hybrid pada perencanaan kali ini dilakukan perhitungan biaya konsumsi bahan bakar kapal Fast patroli boat 60 m menggunakan sistem propulsi hybrid, sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi listrik. Biaya konsumsi bahan bakar bergantung dari konsumsi bahan bakar untuk main engine dan generator set dan juga harga minyak di pasar, namun harga minyak di pasar dari tahun ketahun tidak selalu tetap. Pada perencanaan ini bahan bakar menggunakan jenis bahan bakar minyak HSD (*High Speed Diesel*) dan untuk mengetahui keekonomisan dari perencanaan sistem

propulsi hybrid harga HSD (*High Speed Diesel*) diassumsikan terjadi kenaikan 2% pada setiap tahunnya. Untuk detail harga BBM per juni 2016 berdasarkan wilayahnya seperti yang tertera pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24.

Tabel 4.23 Harga BBM Region I (Wet Java, Central Java, Dan East Java)

No.	Produk BBM	Harga Tanpa Pajak	PPN 10%	PBBKB 5%	Harga Jual
1.	Minyak Solar (HSD)	Rp 7.500,00	Rp 755,00	Rp 377,50	Rp 8.628,50
2.	Minyak Bakar (MFO)	Rp 5.000,00	Rp 500,00		Rp 5.500,00

(*bunkerbbm.co.id*)

Tabel 4.24 Harga BBM Region IV (NTT dan Sorong)

No.	Produk BBM	Harga Tanpa Pajak	PPN 10%	PBBKB 5%	Harga Jual
1.	Minyak Solar (HSD)	Rp 7.800,00	Rp 780,00	Rp 390,00	Rp 8.970,00
2.	Minyak Bakar (MFO)	Rp 5.530,00	Rp 535,00		Rp 5.885,00

(*bunkerbbm.co.id*)

a. Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Penggunaan Sistem Propulsi Hribrid

Biaya konsumsi bahan bakar dengan menggunakan sistem propulsi hybrid meliputi konsumsi bahan bakar untuk main engine dan diesel generator set. Konsumsi bahan bakar dari masing-masing misi yang dijalankan kapal berbeda. Dari analisa performance yang telah dilakukan konsumsi bahan bakar selama satu tahun paling rendah pada konfigurasi 3 dimana konsumsi bahan bakar untuk semua misi yang dijalankan kapal dalam satu tahun sebesar 1666523 liter.

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Patroli Lambat (12 knot)

Pada misi patroli lambat kapal beroperasi pada kecepatan 12 knot dimana untuk beroperasi pada kecepatan 12 knot kapal menggunakan mode listrik sebagai sistem penggerak kapal

dimana motor listrik digunakan sebagai mesin penggerak utama kapal sedangkan main engine dalam kondisi off . Dengan menggunakan mode elektris kebutuhan biaya konsumsi bahan bakar hanya untuk diesel generator set saja. Dari analisa performance yang telah dilakukan sebelumnya konsumsi bahan bakar pada misi pengintaian kapal beroperasi pada kecepatan 12 knot dengan konsumsi bahan bakar per jam sebesar 233,73 liter. Dalam menjalankan misi pengintaian kapal beroperasi selama 1000 jam. Biaya konsumsi bahan bakar untuk misi pengintaian dalam satu tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 233,725 \times 8.682,50 \times 1000 \\ &= \text{Rp. } 2.029.318.354,40 \\ &= \$ 153.583,11 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Patroli Cepat (20 Knot)

Pada misi patroli cepat kapal beroperasi pada kecepatan 20 knot. Pada saat beroperasi dengan kecepatan 20 knot kapal menggunakan mode PTO (*Power Take Off*). Pada saat menggunakan mode PTO (*Power Take Off*) Main engine digunakan sebagai penggerak utama kapal dan motor generator beroperasi sebagai generator.

Berdasarkan analisa *performance* yang telah dilakukan pada saat kapal menjalankan misi patroli lambat dengan kecepatan operasional kapal 20 knot konsumsi bahan bakar per jam sebesar 848,275 liter. Dalam menjalankan misi patroli lambat kapal beroperasi 1125 jam per tahun. Biaya konsumsi bahan bakar kapal untuk misi patroli lambat dalam satu tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 848,275 \times 8.682,50 \times 1125 \\ &= \text{Rp. } 8.285.795.967,94 \\ &= \$ 621.122,44 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Penjelajahan (25 Knot)

Pada misi penjelajahan cepat kapal beroperasi pada kecepatan 25 knot. Pada saat beroperasi dengan kecepatan 25 knot kapal juga beroperasi menggunakan mode PTO (*Power Take Off*). Pada saat menggunakan mode PTO (*Power Take Off*) Main engine digunakan sebagai penggerak utama kapal dan motor generator beroperasi sebagai generator.

Dari analisa *performance* yang telah dilakukan pada saat kapal menjalankan misi patroli cepat konsumsi bahan bakar per jam sebesar 1243,421 liter dengan kecepatan operasional 25 knot. Dalam menjalankan misi patroli lambat kapal beroperasi 250 jam per tahun. Biaya konsumsi bahan bakar kapal untuk misi patroli cepat dalam satu tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 1243,421 \times 8.682,50 \times 250 \\ &= \text{Rp. } 2.698.999.921,99 \\ &= \$ 204.279,70 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Pengejaran (27 Knot)

Dalam menjalankan misi pengejaran kapal beroperasi pada kecepatan 27 knot. Untuk beroperasi dengan kecepatan 27 knot kapal menggunakan mode mekanik sebagai sistem penggerak utama kapal. Mode mekanik menggunakan main engine sebagai mesin penggerak utama kapal dan motor generator kapal dalam kondisi off.

Dari analisa *performance* yang telah dilakukan pada saat kapal menjalankan misi pengejaran konsumsi bahan bakar per jam sebesar 1341,064 liter dengan kecepatan operasional kapal 27 knot. Dalam menjalankan misi pengejaran kapal beroperasi pada kecepatan operasional 27 knot selama 250 jam per tahun. Biaya konsumsi bahan bakar kapal untuk misi pengejaran dalam satu tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 1341,064 \times 8.682,50 \times 125 \\ &= \text{Rp. } 1.455.473.808,89 \\ &= \$ 110.157,43 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

Detail perhitungan biaya konsumsi bahan bakar penggunaan sistem propulsi hybrid pada setiap tahun seperti yang tertera pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Propulsi Hytbrid Per Tahun

Misi	Vs (knot)	Jam Operasi (Jam)	Jumlah Konsumsi Bahan bakar (liter/tahun)	Biaya Bahan Bakar per misi (Rp)	Biaya Bahan Bakar per tahun (Rp/tahun)
Pengintaian	12	1000	233725,12	Rp 2.029.318.354,40	Rp 14.469.588.053,22
Patroli Lambat	20	1125	954309,93	Rp 8.285.795.967,94	
Patroli Cepat	25	250	310855,16	Rp 2.698.999.921,99	\$ 1.085.246,24
Pengejaran	27	125	167633,03	Rp 1.455.473.808,89	

b. Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Penggunaan Sistem Propulsi Mekanis

Biaya konsumsi bahan bakar dengan menggunakan sistem propulsi mekanis meliputi konsumsi bahan bakar untuk main

engine dan diesel generator set. Sistem propulsi mekanis mesin penggerak utama menggunakan motor diesel. Dari analisa performance yang telah dilakukan konsumsi bahan bakar dalam satu tahun sebesar 1776399,4 liter.

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Patroli Lambat (12 knot)

Dalam menjalankan misi patroli lambat kapal beroperasi pada kecepatan 12 knot. Dari analisa performance yang telah dilakukan sebelumnya konsumsi bahan bakar untuk misi pengintaian, kapal beroperasi pada kecepatan 12 knot. Dengan menggunakan sistem propulsi mekanik konsumsi bahan bakar per jam untuk main engine sebesar 125,013 liter dan diesel generator set sebesar 177,836 liter. Jumlah konsumsi seluruhnya untuk menjalankan misi pengintaian dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebesar 302,849 liter. Dalam menjalankan misi pengintaian kapal beroperasi selama 1000 jam. Biaya konsumsi bahan bakar untuk misi pengintaian dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\
 &= 302,849 \times 8.682,50 \times 1000 \\
 &= \text{Rp. } 2.629.489.386,41 \\
 &= \$ 199.050,26
 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Patroli Cepat (20 Knot)

Dalam menjalankan misi patroli cepat kapal beroperasi dengan kecepatan 20 knot. Berdasarkan analisa *performance* yang telah dilakukan pada saat kapal menjalankan misi patroli lambat dengan kecepatan operasional kapal 20 knot konsumsi bahan bakar untuk main engine per jam sebesar 699,587 liter dan untuk diesel generator set sebesar 177,836 liter. Jumlah konsumsi seluruhnya

untuk menjalankan misi patroli lambat dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebesar 987101,18 liter. Dalam menjalankan misi patroli lambat kapal beroperasi 1125 jam per tahun. Biaya konsumsi bahan bakar kapal untuk misi patroli lambat dengan menggunakan sistem propulsi mekanis dalam satu tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 987101,18 \times 8.682,50 \times 1125 \\ &= \text{Rp. } 8.570.505.952,44 \\ &= \$ 648.721,92 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Penjelajahan (25 Knot)

Dalam menjalankan misi penjelajahan kapal beroperasi pada kecepatan 27 knot. Dari analisa *performance* yang telah dilakukan pada saat kapal menjalankan misi pengejaran konsumsi bahan bakar untuk main engine per jam sebesar 1088,463 liter dan untuk diesel generator set sebesar 177,836 liter. Jumlah konsumsi seluruhnya untuk menjalankan misi patroli lambat dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebesar 310855,16 liter. Dalam menjalankan misi pengejaran kapal beroperasi pada kecepatan operasional 27 knot selama 250 jam per tahun. Biaya konsumsi bahan bakar kapal untuk misi patroli cepat dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 310855,16 \times 8.682,50 \times 125 \\ &= \text{Rp. } 2.748.660.076,12 \\ &= \$ 208.049,56 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Pengejaran (27 Knot)

Dalam menjalankan misi pengejaran kapal beroperasi pada kecepatan 27 knot. Dari analisa *performance* yang telah dilakukan pada saat kapal menjalankan misi pengejaran konsumsi bahan bakar untuk main engine per jam sebesar 1188,219 liter dan untuk diesel generator set sebesar 170,774 liter. Jumlah konsumsi seluruhnya untuk menjalankan misi pengejaran dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebesar 169874,19 liter. Dalam menjalankan misi pengejaran kapal beroperasi pada kecepatan operasional 27 knot selama 125 jam per tahun. Biaya konsumsi bahan bakar kapal untuk misi pengejaran dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi mekanis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\
 &= 169874,19 \times 8.682,50 \times 125 \\
 &= \text{Rp. } 1.474.932.680,59 \\
 &= \$ 111.637,88
 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

Detail perhitungan biaya konsumsi bahan bakar penggunaan sistem propulsi hybrid pada setiap tahun seperti yang tertera pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Biaya Konsumsi Bahan Bakar Sistem Propulsi Mekanis Per Tahun

Misi	Vs (knot)	Jam Operasi (Jam)	Jumlah Konsumsi Bahan bakar (liter/tahun)	Biaya Bahan Bakar per misi (Rp)	Biaya Bahan Bakar per tahun (Rp/tahun)
Pengintaian	12	1000	302891,11	Rp 2.629.852.055,10	Rp 15.424.476.414,93
Patroli Lambat	20	1125	987148,17	Rp 8.570.913.954,72	
Patroli Cepat	25	250	316585,17	Rp 2.748.750.743,29	\$ 1.156.864,65
Pengejaran	27	125	169877,30	Rp 1.474.959.661,83	

c. Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Penggunaan Sistem Propulsi Listrik

Biaya konsumsi bahan bakar dengan menggunakan sistem propulsi listrik hanya untuk diesel generator set. Sistem propulsi listrik mesin penggerak utama menggunakan motor listrik. Dari analisa performance yang telah dilakukan konsumsi bahan bakar dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi listrik sebesar 1711391,3 liter.

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Patroli Lambat (12 knot)

Dalam menjalankan misi patroli lambat kapal beroperasi pada kecepatan 12 knot. Dari analisa performance yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan sistem propulsi listrik konsumsi bahan bakar per jam untuk diesel generator set sebesar 257,720 liter. Kapal beroperasi selama 1000 jam dalam satu tahun untuk menjalankan misi pengintaian. Biaya konsumsi bahan bakar untuk misi pengintaian dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi listrik sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\
 &= 257,720 \times 8.682,50 \times 1000 \\
 &= \text{Rp. } 2.237.653.900,00 \\
 &= \$ 169.394,37
 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Patroli Cepat (20 Knot)

Dalam menjalankan misi patroli cepat kapal beroperasi pada kecepatan 20 knot. Dari analisa performance yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan sistem propulsi listrik konsumsi bahan bakar per jam untuk diesel generator set sebesar 858,506 liter. Kapal beroperasi selama 1125 jam dalam satu tahun untuk menjalankan misi patroli lambat. Biaya konsumsi bahan bakar untuk misi patroli lambat dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi listrik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 858,506 \times 8.682,50 \times 1000 \\ &= \text{Rp. } 8.385.729.545,25 \\ &= \$ 634.323,35 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD
(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Penjelajahan (25 Knot)

Dalam menjalankan misi penjelajahan, kapal beroperasi pada kecepatan 25 knot. Dari analisa performance yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan sistem propulsi listrik konsumsi bahan bakar per jam untuk diesel generator set sebesar 1269,398 liter. Kapal beroperasi selama 250 jam dalam satu tahun untuk menjalankan misi patroli cepat. Biaya konsumsi bahan bakar untuk misi patroli cepat dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi listrik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\ &= 1269,398 \times 8.682,50 \times 1000 \\ &= \text{Rp. } 2.755.387.902,00 \\ &= \$ 208.624,11 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD

(www.bi.go.id)

- Perhitungan Biaya Konsumsi Bahan Bakar Pada Misi Pengejaran (27 Knot)

Dalam menjalankan misi patroli cepat, kapal beroperasi pada kecepatan 25 knot. Dari analisa performance yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan sistem propulsi elektrik konsumsi bahan bakar per jam untuk diesel generator set sebesar 1364,016 liter. Kapal beroperasi selama 125 jam dalam satu tahun untuk menjalankan misi patroli cepat. Biaya konsumsi bahan bakar untuk misi pengejaran dalam satu tahun dengan menggunakan sistem propulsi elektrik sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya bahan bakar /tahun} &= \text{FC} \times \text{harga HSD} \times \text{jam operasional} \\
 &= 1364,016 \times 8.682,50 \times 125 \\
 &= \text{Rp. } 1.480.383.615,00 \\
 &= \$ 112.063,52
 \end{aligned}$$

Dimana :

Kurs USD to IDR (per 17 mei 2016) = Rp 13.212,00/ USD

(www.bi.go.id)

Detail perhitungan biaya konsumsi bahan bakar penggunaan sistem propulsi hybrid pada setiap tahun seperti yang tertera pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Operasional Cost Sistem Propulsi Elektrik

Misi	Vs (knot)	Jam Operasi (Jam)	Jumlah Konsumsi Bahan bakar (liter/tahun)	Biaya Bahan Bakar per misi (Rp)	Biaya Bahan Bakar per tahun (Rp/tahun)
Pengintaian	12	1000	257764,28	Rp 2.238.038.374,98	Rp 14.855.643.403,53
Patroli Lambat	20	1125	965238,13	Rp 8.380.680.058,16	
Patroli Cepat	25	250	317459,45	Rp 2.756.341.684,33	\$ 1.114.201,11
Pengejaran	27	125	170525,00	Rp 1.480.583.286,06	

4.6.3. Analisa Break Even Point

Break Even Point (BEP) adalah suatu keadaan perusahaan dimana dengan keadaan tersebut perusahaan tidak mengalami kerugian juga perusahaan tidak mendapat laba sehingga terjadi keseimbangan atau impas. (Syafaruddin, 1990). Pada perencanaan ini dilakukan analisa *Break Even Point* (BEP) untuk mengetahui lamanya waktu untuk mencapai keseimbangan cost dari sistem propulsi hybrid jika dibandingkan dengan sistem propulsi mekanis (konvensional) dan sistem propulsi listrik. *Cash flow* untuk penggunaan sistem propulsi mekanis seperti yang tertera pada Tabel 2.28.

Tabel 4.28 *Operasional Cost Sistem Propulsi Mekanis*

Tahun	Cash flow Penggunaan Propulsi Mekanis	
	Rp	\$
0	Rp 37.388.087.672,00	\$ 2.829.858,29
1	Rp 52.812.564.086,93	\$ 3.997.317,90
2	Rp 68.237.040.501,87	\$ 5.164.777,51
3	Rp 83.661.516.916,80	\$ 6.332.237,13
4	Rp 99.085.993.331,73	\$ 7.499.696,74
5	Rp 114.510.469.746,67	\$ 8.667.156,35
6	Rp 129.934.946.161,60	\$ 9.834.615,97
7	Rp 145.359.422.576,53	\$ 11.002.075,58
8	Rp 160.783.898.991,47	\$ 12.169.535,19
9	Rp 176.208.375.406,40	\$ 13.336.994,81
10	Rp 191.632.851.821,33	\$ 14.504.454,42
11	Rp 207.057.328.236,27	\$ 15.671.914,04
12	Rp 222.481.804.651,20	\$ 16.839.373,65
13	Rp 237.906.281.066,14	\$ 18.006.833,26
14	Rp 253.330.757.481,07	\$ 19.174.292,88
15	Rp 268.755.233.896,00	\$ 20.341.752,49
16	Rp 284.179.710.310,94	\$ 21.509.212,10
17	Rp 299.604.186.725,87	\$ 22.676.671,72
18	Rp 315.028.663.140,80	\$ 23.844.131,33
19	Rp 330.453.139.555,74	\$ 25.011.590,94
20	Rp 345.877.615.970,67	\$ 26.179.050,56
21	Rp 361.302.092.385,60	\$ 27.346.510,17
22	Rp 376.726.568.800,54	\$ 28.513.969,79
23	Rp 392.151.045.215,47	\$ 29.681.429,40
24	Rp 407.575.521.630,40	\$ 30.848.889,01
25	Rp 422.999.998.045,34	\$ 32.016.348,63
26	Rp 438.424.474.460,27	\$ 33.183.808,24
27	Rp 453.848.950.875,20	\$ 34.351.267,85
28	Rp 469.273.427.290,14	\$ 35.518.727,47
29	Rp 484.697.903.705,07	\$ 36.686.187,08
30	Rp 500.122.380.120,00	\$ 37.853.646,69

Penggunaan sistem propulsi listrik biaya investasi lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan sistem propulsi mekanis dan sistem propulsi hybrid dimana biaya investasi penggunaan sistem propulsi listrik sebesar \$ 4.076.689,35 yang ditunjukkan tahun ke 0 pada Tabel 4.29. Untuk biaya konsumsi bahan bakar tiap tahun sistem propulsi listrik sebesar \$1.124.405,35 cash flow penggunaan sistem propulsi listrik seperti yang tertera pada Tabel 4.29.

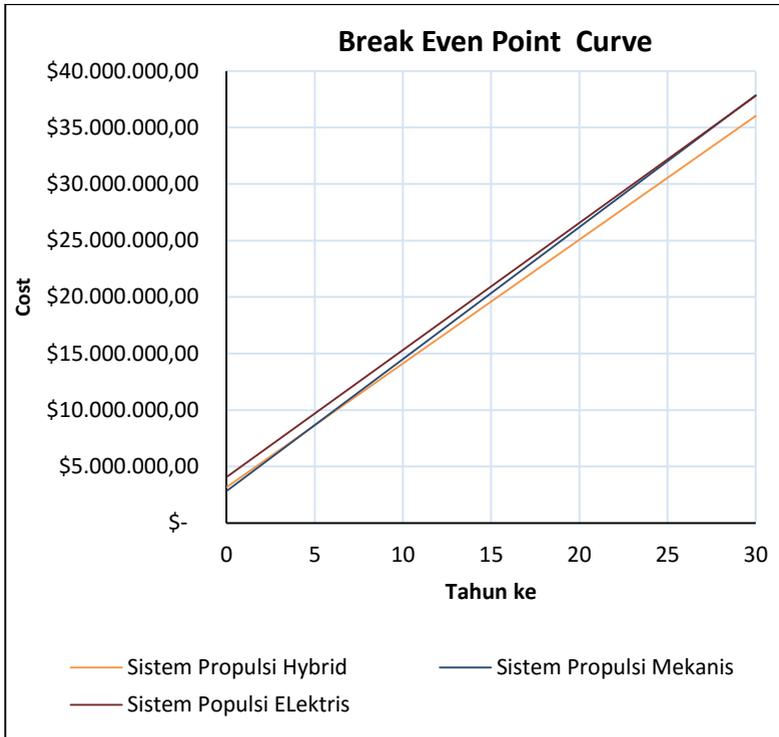
Tabel 4.29 Operasional Cost Sistem Propulsi Listrik

Tahun	Cash flow Penggunaan Propulsi Listrik	
	Rp	\$
0	Rp 53.742.311.676,20	\$ 4.067.689,35
1	Rp 68.597.955.079,73	\$ 5.192.094,69
2	Rp 83.453.598.483,27	\$ 6.316.500,04
3	Rp 98.309.241.886,80	\$ 7.440.905,38
4	Rp 113.164.885.290,34	\$ 8.565.310,72
5	Rp 128.020.528.693,87	\$ 9.689.716,07
6	Rp 142.876.172.097,41	\$ 10.814.121,41
7	Rp 157.731.815.500,94	\$ 11.938.526,76
8	Rp 172.587.458.904,48	\$ 13.062.932,10
9	Rp 187.443.102.308,01	\$ 14.187.337,44
10	Rp 202.298.745.711,54	\$ 15.311.742,79
11	Rp 217.154.389.115,08	\$ 16.436.148,13
12	Rp 232.010.032.518,61	\$ 17.560.553,48
13	Rp 246.865.675.922,15	\$ 18.684.958,82
14	Rp 261.721.319.325,68	\$ 19.809.364,16
15	Rp 276.576.962.729,22	\$ 20.933.769,51
16	Rp 291.432.606.132,75	\$ 22.058.174,85
17	Rp 306.288.249.536,28	\$ 23.182.580,19
18	Rp 321.143.892.939,82	\$ 24.306.985,54
19	Rp 335.999.536.343,35	\$ 25.431.390,88
20	Rp 350.855.179.746,89	\$ 26.555.796,23
21	Rp 365.710.823.150,42	\$ 27.680.201,57
22	Rp 380.566.466.553,96	\$ 28.804.606,91
23	Rp 395.422.109.957,49	\$ 29.929.012,26
24	Rp 410.277.753.361,02	\$ 31.053.417,60
25	Rp 425.133.396.764,56	\$ 32.177.822,95
26	Rp 439.989.040.168,09	\$ 33.302.228,29
27	Rp 454.844.683.571,63	\$ 34.426.633,63
28	Rp 469.700.326.975,16	\$ 35.551.038,98
29	Rp 484.555.970.378,70	\$ 36.675.444,32
30	Rp 499.411.613.782,23	\$ 37.799.849,67

Penggunaan sistem propulsi hybrid biaya investasi lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan sistem propulsi mekanis dimana biaya investasi penggunaan sistem propulsi elektris sebesar \$ 3.168.146,96 yang ditunjukkan tahun ke 0 pada Tabel 4.30. Untuk biaya konsumsi bahan bakar tiap tahun sistem propulsi elektris sebesar \$ 1.095.142,96 cash flow penggunaan sistem propulsi elektris seperti yang tertera pada Tabel 4.30.

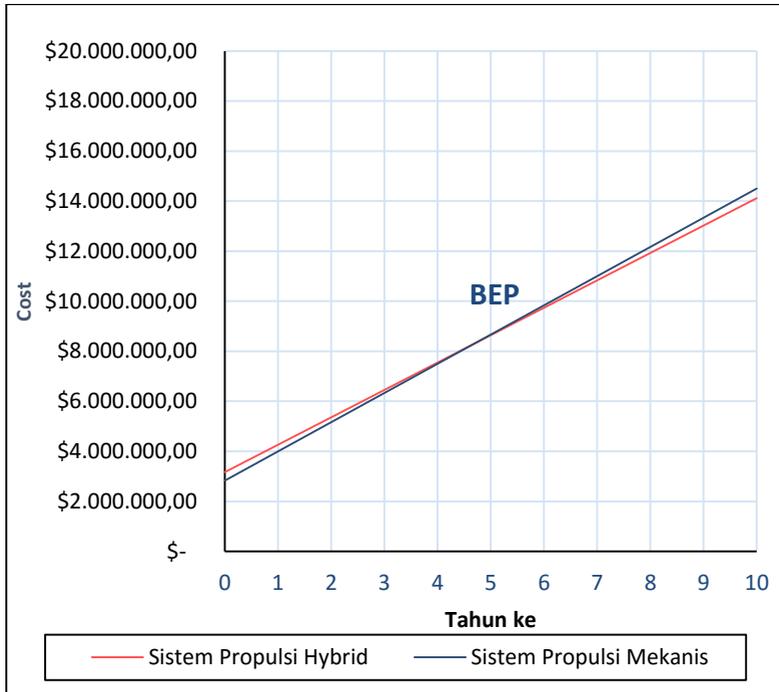
Tabel 4.30 Operasional Cost Sistem Propulsi Elektris

Tahun	Cash flow Penggunaan Propulsi Hybrid	
	Rp	\$
0	Rp 41.857.557.612,00	\$ 3.168.146,96
1	Rp 56.326.582.800,00	\$ 4.263.289,65
2	Rp 70.795.607.987,99	\$ 5.358.432,33
3	Rp 85.264.633.175,99	\$ 6.453.575,02
4	Rp 99.733.658.363,98	\$ 7.548.717,71
5	Rp 114.202.683.551,98	\$ 8.643.860,40
6	Rp 128.671.708.739,98	\$ 9.739.003,08
7	Rp 143.140.733.927,97	\$ 10.834.145,77
8	Rp 157.609.759.115,97	\$ 11.929.288,46
9	Rp 172.078.784.303,97	\$ 13.024.431,15
10	Rp 186.547.809.491,96	\$ 14.119.573,83
11	Rp 201.016.834.679,96	\$ 15.214.716,52
12	Rp 215.485.859.867,96	\$ 16.309.859,21
13	Rp 229.954.885.055,95	\$ 17.405.001,90
14	Rp 244.423.910.243,95	\$ 18.500.144,58
15	Rp 258.892.935.431,94	\$ 19.595.287,27
16	Rp 273.361.960.619,94	\$ 20.690.429,96
17	Rp 287.830.985.807,94	\$ 21.785.572,65
18	Rp 302.300.010.995,93	\$ 22.880.715,33
19	Rp 316.769.036.183,93	\$ 23.975.858,02
20	Rp 331.238.061.371,92	\$ 25.071.000,71
21	Rp 345.707.086.559,92	\$ 26.166.143,40
22	Rp 360.176.111.747,92	\$ 27.261.286,08
23	Rp 374.645.136.935,91	\$ 28.356.428,77
24	Rp 389.114.162.123,91	\$ 29.451.571,46
25	Rp 403.583.187.311,91	\$ 30.546.714,15
26	Rp 418.052.212.499,90	\$ 31.641.856,83
27	Rp 432.521.237.687,90	\$ 32.736.999,52
28	Rp 446.990.262.875,89	\$ 33.832.142,21
29	Rp 461.459.288.063,89	\$ 34.927.284,90
30	Rp 475.928.313.251,89	\$ 36.022.427,58



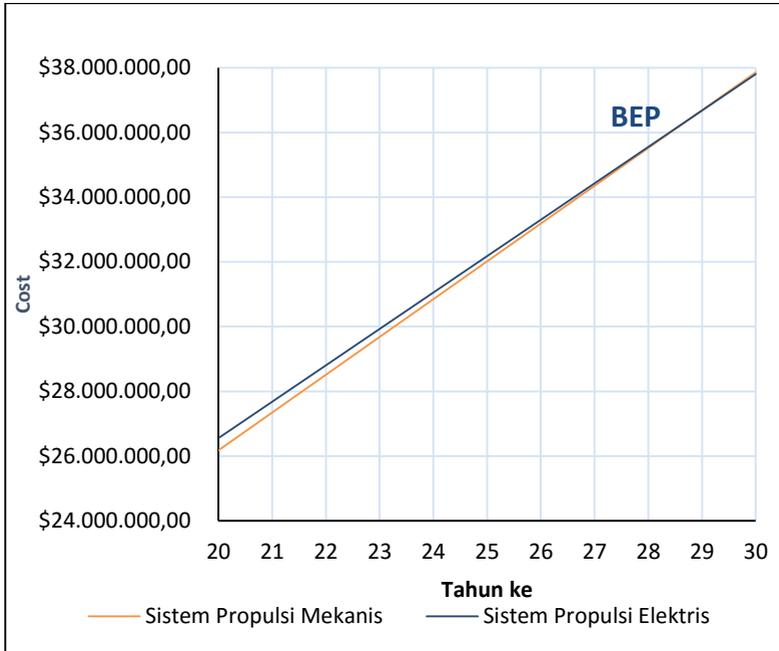
Gambar 4.21 Grafik Analisa Break Even Poin Sistem Propulsi Hybrid, Sistem Propulsi Mekanis dan Sistem Propulsi Elektris

Dari Gambar 4.21 terlihat bahwa terjadi perpotongan antara grafik sistem propulsi mekanis dengan grafik sistem propulsi hybrid pada tahun ke empat sampai tahun ke lima. Untuk penggunaan sistem propulsi hybrid biaya investasi dan biaya operasional kapal pada tahun ke empat \$ 7.548.717,71 dan tahun ke lima sebesar \$ 8.643.860,40. Untuk penggunaan sistem propulsi mekanis biaya investasi dan biaya operasional kapal pada tahun ke empat sebesar \$ 7.499.696,74 dan pada tahun ke lima sebesar 8.667.156,35 Untuk detailnya seperti yang terlihat pada grafik 4.22.



Gambar 4.22 Grafik Biaya Investasi dan Bahan Bakar Untuk Sistem Propulsi Hybrid dan Sistem Propulsi Mekanis Dalam 5 Tahun

Dari Gambar 4.21 terlihat juga terjadi perpotongan antara grafik sistem propulsi mekanis dengan grafik sistem propulsi listrik pada tahun ke tiga puluh lima sampai tahun ke tiga puluh enam. Untuk penggunaan sistem propulsi mekanis biaya investasi dan biaya operasional kapal pada tahun ke dua puluh delapan sebesar \$ 35.518.727,47 dan tahun ke dua puluh sembilan sebesar \$ 36.686.187,08. Untuk penggunaan sistem propulsi listrik biaya investasi dan biaya operasional kapal pada tahun ke tiga puluh lima sebesar \$ 35.551.038,98 dan pada tahun ke tiga puluh enam sebesar \$ 36.675.444,32. Untuk detailnya seperti yang terlihat pada grafik 4.23.



Gambar 4.23 Grafik Biaya Investasi dan Bahan Bakar Untuk Sistem Propulsi Sistem Propulsi Mekanis dan Sistem Propulsi Elektris Dalam 30 Tahun

LAMPIRAN

ITEM	NO. OFF	POWER EACH		PATROL												MANEUVERING				COMBAT						PORT										
		RATED KW	ABSORBED KW	12 KNOT			20 KNOT			25 KNOT			MANEUVERING				STANDBY			ATTACK			LEAVE			COME										
				POWER			POWER			POWER			POWER				POWER			POWER			POWER													
		NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.	NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.	NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.	NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.	NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.	NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.	NO. IN USE	L.F.	INT.	CONT.							
A	B	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E								
ENGINE ROOM																																				
FIREHEATER MPK	2.00	18.00	18.00	-	-	-	-	1.00	0.65	-	11.70	1.00	0.65	-	11.70	1.00	0.65	-	11.70	1.00	0.65	-	11.70	1.00	0.65	-	11.70	1.00	0.65	-	11.70					
MAIN LUB.OIL PUMPS	2.00	2.50	2.50	-	-	-	-	1.00	0.65	-	1.63	1.00	0.65	-	1.63	1.00	0.65	-	1.63	1.00	0.65	-	1.63	1.00	0.65	-	1.63	1.00	0.65	-	1.63					
MOTOR GEARBOX	2.00	3.00	3.00	1.00	0.70	-	2.10	1.00	0.70	-	2.10	1.00	0.70	-	2.10	1.00	0.70	-	2.10	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.70	-	2.10	1.00	0.70	-	2.10		
MOTOR PRIMARY GEARBOX	2.00	1.50	1.50	1.00	0.70	-	1.05	1.00	0.70	-	1.05	1.00	0.70	-	1.05	1.00	0.70	-	1.05	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.70	-	1.05	1.00	0.70	-	1.05		
AIR PUMP GEARBOX	2.00	4.00	4.00	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	1.00	0.30	-	1.20	
COOLING GEARBOX	1.00	2.20	2.20	1.00	0.30	-	0.66	1.00	0.30	-	0.66	1.00	0.30	-	0.66	1.00	0.30	-	0.66	1.00	0.30	-	0.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
STEERING GEAR	2.00	9.00	9.00	2.00	0.75	-	4.50	2.00	0.75	-	4.50	2.00	0.75	-	4.50	2.00	1.00	-	18.00	2.00	0.75	-	4.50	2.00	0.75	-	4.50	2.00	0.40	-	7.20	2.00	0.40	-	7.20	
FO TRANSFER PUMP	1.00	2.20	2.20	1.00	0.80	-	1.76	1.00	0.80	-	1.76	1.00	0.80	-	1.76	1.00	0.80	-	1.76	1.00	0.80	-	1.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
FO SEPARATOR	2.00	2.20	2.20	1.00	0.65	-	1.43	1.00	0.65	-	1.43	1.00	0.65	-	1.43	1.00	0.65	-	1.43	1.00	0.65	-	1.43	1.00	0.50	-	2.10	1.00	0.50	-	2.10	1.00	0.50	-	2.10	
LO TRANSFER PUMP	1.00	1.50	1.50	-	-	-	-	1.00	0.65	-	0.98	1.00	0.65	-	0.98	1.00	0.65	-	0.98	1.00	0.65	-	0.98	1.00	0.65	-	0.98	1.00	0.65	-	0.98	1.00	0.65	-	0.98	
DIRTY OIL PUMP	1.00	1.50	1.50	-	-	-	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00
FIRE FIGHTING	3.00	55.00	55.00	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00	0.10	5.50	-	1.00
MAIN AIR COMPRESSOR	2.00	33.00	33.00	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00	0.85	28.05	-	1.00
SEAWATER PUMP CVU	2.00	20.00	20.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	1.00	0.85	-	17.00	
FW PUMP	2.00	2.20	2.20	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00	0.85	1.87	-	1.00
ELECTRIC WATER HEATER	2.00	55.00	55.00	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00	0.20	11.00	-	1.00
BILGE SEPARATOR	1.00	1.10	1.10	-	-	-	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00
MAIN BILGE PUMP	1.00	1.10	1.10	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.85	0.94	-	1.00	0.80	0.88	-	1.00	0.80	0.88	-	1.00	0.80	0.88	-	1.00
ELJWB	1.00	0.50	0.50	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.65	-	0.33	1.00	0.65	-	0.33	1.00	0.65	-	0.33	
AFTER WINCH	1.00	9.00	9.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
CAPSTAN	1.00	5.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
ANCHOR WINCH	1.00	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DC MOTOR FOR PROPULSION	2.00	172.25	172.25	2.00	1.00	-	344.50	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	1.00	-	344.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Intermittent Load			47.36				49.57				49.57				0.00				21.52				11.28				44.01				44.01			
Sub Total Auxiliary Machinery Part		Continuous Load			374.63				44.43				44.43				385.43				41				20				401				401			

ITEM	NO. OFF	POWER EACH		PATROL												MANEUVERING			COMBAT						PORT											
		RATED KW	ABSORBED KW	12 KNOT			20 KNOT			25 KNOT			POWER			STANDBY			ATTACK			LEAVE			COME											
				NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER											
		L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.	CONT.								
A	B	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E											
LAUNDRY																																				
TUMBLE DRYER	3,00	5,00	5,00	3,00	0,85	12,75	-	3,00	0,85	12,75	-	3,00	0,85	12,75	-	3,00	0,85	12,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,00	0,85	12,75	-	3,00	0,85	12,75	-
WASHER EXTRACTORS	5,00	3,50	3,50	5,00	0,85	-	14,88	5,00	0,85	-	14,88	5,00	0,85	-	14,88	5,00	0,85	14,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,00	0,85	-	14,88	5,00	0,85	-	14,88	
ELECTRIC HOT WATER HEATER	2,00	2,00	2,00	2,00	0,85	-	3,40	2,00	0,85	-	3,40	2,00	0,85	-	3,40	2,00	0,85	3,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	0,85	-	3,40	2,00	0,85	-	3,40	
IRONING SET	2,00	0,75	0,75	2,00	0,85	-	1,28	2,00	0,85	-	1,28	2,00	0,85	-	1,28	2,00	0,85	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	0,85	-	1,28	2,00	0,85	-	1,28	
Sub Total Auxiliary Machinery Part	Intermittent Load			12,75			12,75			12,75			32,30			0,00			0,00			12,75			12,75											
	Continuous Load			19,55			19,55			19,55			0,00			0,00			0,00			19,55			19,55											
ENGINE ROOM (NEW)																																				
SEA WATER DESALINATION PLANT	1,00	10,00	50,00	1,00	0,50	-	25,00	1,00	0,50	-	25,00	1,00	0,50	-	25,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,50	-	25,00	1,00	0,50	-	25,00	
OILY WATER SEPARATOR	1,00	7,00	7,00	1,00	0,20	1,40	-	1,00	0,20	1,40	-	1,00	0,20	1,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,20	1,40	-	1,00	0,20	1,40	-	
SEWAGE TREATMENT PLANT	1,00	3,00	3,00	1,00	0,10	0,30	-	1,00	0,10	0,30	-	1,00	0,10	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,10	0,30	-	1,00	0,10	0,30	-	
SEWAGE DISCHARGE PUMP	2,00	3,00	3,00	1,00	0,10	0,30	-	1,00	0,10	0,30	-	1,00	0,10	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,10	0,30	-	1,00	0,10	0,30	-	
FW PRESSURE SET PUMP	2,00	2,60	2,60	1,00	0,85	-	2,21	1,00	0,85	-	2,21	1,00	0,85	-	2,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,85	-	2,21	1,00	0,85	-	2,21	
HOT WATER CIRCULATION PUMP	2,00	0,40	0,40	1,00	0,85	-	0,34	1,00	0,85	-	0,34	1,00	0,85	-	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,85	-	0,34	1,00	0,85	-	0,34	
Sub Total Auxiliary Machinery Part	Intermittent Load			2,00			2,00			2,00			0,00			0,00			0,00			2,00			2,00											
	Continuous Load			27,55			27,55			27,55			0,00			0,00			0,00			27,55			27,55											

ITEM	NO. OFF	POWER EACH		PATROL/COMBAT										PORT					
		RATED KW	ABSORBED KW	SIANG			MALAM			SIANG			MALAM						
				NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER			NO. IN USE	POWER		
		L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.	L.F.	INT.		CONT.		
A	B	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E						
LIGHTING																			
DECK 1 (ENGINE ROOM)	1,00	25,00	16,00	1,00	0,85	-	14,28	1,00	0,85	-	14,28	1,00	0,85	-	14,28	1,00	0,85	-	14,28
DECK 2 (TWEEN DECK)	1,00	0,00	5,70	1,00	0,85	-	4,85	1,00	0,85	-	4,85	1,00	0,85	-	4,85	1,00	0,85	-	4,85
DECK 3 (MAIN DECK)	1,00	20,00	10,10	1,00	0,85	-	8,59	1,00	0,85	-	8,59	1,00	0,85	-	8,59	1,00	0,85	-	8,59
NAVIGATION DECK	1,00	22,30	22,30	1,00	0,85	-	18,96	1,00	0,85	-	18,96	-	-	-	-	-	-	-	-
ABOVE NAVIGATION DECK	1,00	13,10	13,10	-	-	-	-	1,00	0,85	-	11,14	-	-	-	-	1,00	0,85	-	11,14
PCR	1,00	5,00	7,90	-	-	-	-	1,00	0,85	-	6,72	-	-	-	-	1,00	0,85	-	6,72
BOAT LANDING PLATFORM	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	1,00	0,85	-	0,85	-	-	-	-	1,00	0,85	-	0,85
HELIDECK	1,00	3,20	3,20	-	-	-	-	1,00	0,85	-	2,72	-	-	-	-	1,00	0,85	-	2,72
Sub Total Auxiliary Machinery Part	Intermittent Load			0,00			0,00			0,00			0,00						
	Continuous Load			46,67			48,09			27,71			40,13						

ITEM	NO. OFF	POWER EACH		PATROL									MANEUVERING			COMBAT						PORT																	
		RATED KW	ABSORBED KW	12 KNOT			20 KNOT			25 KNOT			POWER			STANDBY			ATTACK			LEAVE			COME														
				NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER		NO. IN USE	POWER													
		L.F.	INT.		CONT.	L.F.		INT.	CONT.		L.F.	INT.		CONT.	L.F.		INT.	CONT.		L.F.	INT.		CONT.	L.F.		INT.	CONT.	L.F.	INT.	CONT.									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z														
WEAPON SYSTEM																																							
2X20 mm MITRALIUR MACHINE GUN	2.00	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	0.50	-	2.00	1.00	0.50	-	1.00	-	-	-	-	-	-							
4 MISSILES	2.00	5.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	0.50	-	5.00	2.00	0.50	-	5.00	-	-	-	-	-	-							
FRONT CANNON LAUNCHER 76 mm	1.00	10.00	21.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	10.50	1.00	0.50	-	10.50	-	-	-	-	-	-							
2X2 TORPEDO LAUNCHER	2.00	5.00	15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	7.50	2.00	0.50	-	15.00	-	-	-	-	-	-							
2XVIKR BUDAL AND LAUNCHER	2.00	3.00	9.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	4.50	2.00	0.50	-	9.00	-	-	-	-	-	-							
2X2 IGLA ROCKET LAUNCHER	2.00	3.00	10.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	5.00	2.00	0.50	-	10.00	-	-	-	-	-	-							
2X FRONT ROCKET LAUNCHER ARM 21	2.00	5.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	2.50	2.00	0.50	-	5.00	-	-	-	-	-	-							
2X2 YAKHONT VERTICAL LAUNCHER	1.00	5.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	2.50	1.00	0.50	-	2.50	-	-	-	-	-	-							
WEAPON SYSTEM RADAR	1.00	60.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	1.40	1.00	0.50	-	1.40	-	-	-	-	-	-							
COMBAT MANAGEMENT SYSTEM	1.00	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	1.00	1.00	0.50	-	1.00	-	-	-	-	-	-							
ELECTRONIC COUNTER MEASURES	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	0.50	1.00	0.50	-	0.50	-	-	-	-	-	-							
4X DECOYS SYSTEM	2.00	10.00	9.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	0.50	-	4.50	2.00	0.50	-	3.00	-	-	-	-	-	-							
Sub Total Auxiliary Machinery Part	Intermittent Load						0.00						0.00						0.00						0.00						0.00								
	Continuous Load									0.00						0.00						49.40						74.90						0.00					
AC & VENTILATION																																							
BLOWER	2.00	1.50	1.50	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55				
BLOWER DECK 1	2.00	1.50	1.50	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55	2.00	0.85	-	2.55				
BLOWER DECK FAN ROOM	1.00	4.00	4.00	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40	1.00	0.85	-	3.40				
BLOWER GEAR ROOM	1.00	1.50	1.50	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28	-	1.00	0.85	1.28					
BLOWER GT ROOM	2.00	5.50	5.50	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35	2.00	0.85	-	9.35				
BLOWER UP/DOWN DE	2.00	18.50	18.50	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45	2.00	0.85	-	31.45				
BLOWER UP/DOWN DG	2.00	4.00	4.00	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80	2.00	0.85	-	6.80				
BLOWER LOBBY	1.00	0.50	0.50	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43	1.00	0.85	-	0.43				
BLOWER ABSORBED	1.00	0.55	0.55	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47	1.00	0.85	-	0.47				
BLOWER FAN ROOM	1.00	1.50	1.50	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28				
BLOWER GALLEY 1	1.00	1.50	1.50	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28	1.00	0.85	-	1.28				
BLOWER STORE	1.00	0.50	0.50	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43	-	1.00	0.85	0.43					
MECHANICAL EXHAUST FAN	1.00	1.30	1.30	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11	1.00	0.85	-	1.11				
Sub Total Auxiliary Machinery Part	Intermittent Load						1.70						1.70						1.70						1.28						0.00						0.00		
	Continuous Load						60.65						60.65						60.65						59.80						62.35						62.35		

ITEM	PATROL			MANEUVERING	COMBAT		PORT				
	12 KNOT	20 KNOT	25 KNOT		STANDBY	ATTACK	LEAVE	COME			
ENGINE ROOM	Continuous load	37,63	44,43	44,43	385,43	41,28	19,78	401,18	400,79		
	Intermittent load	47,36	49,57	49,57	0,00	21,52	11,20	44,01	44,01		
NAVIGATION	Continuous load	362,87	362,87	362,87	362,87	362,87	362,87	140,25	140,25		
	Intermittent load	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,25	21,25		
GALLEY	Continuous load	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,00	0,00		
	Intermittent load	12,53	12,53	12,53	12,53	0,00	0,00	0,10	0,10		
PANTRY	Continuous load	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,00	0,00		
	Intermittent load	2,80	2,80	2,80	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00		
LAUNDRY	Continuous load	19,55	19,55	19,55	0,00	0,00	0,00	19,55	19,55		
	Intermittent load	12,75	12,75	12,75	32,30	0,00	0,00	12,75	12,75		
ENGINE ROOM (NEW)	Continuous load	27,55	27,55	27,55	0,00	0,00	0,00	27,55	27,55		
	Intermittent load	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00		
WEAPON SYSTEM	Continuous load	0,00	0,00	0,00	0,00	49,40	74,90	0,00	0,00		
	Intermittent load	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
AC & VENTILATION	Continuous load	60,65	60,65	60,65	60,65	59,80	62,35	62,35	62,35		
	Intermittent load	1,70	1,70	1,70	1,70	1,20	0,00	0,00	0,00		
LIGHTING	Continuous load	MALAM	60,09			SIANG	46,67	MALAM	49,13	SIANG	27,71
	Intermittent load		0,00				0,00		0,00		0,00
Total Penggunaan daya	Continuous load	914,68	584,48	584,48	878,38	582,78	589	679	678		
	Intermittent load	79,13	81,34	81,34	40,43	22,79	11,20	80,11	80,11		
Faktor diversitas	0,5 x (d) intranita	39,565	40,67	40,67	24,2125	11,395	5,638	40,855	40,855		
Jumlah beban	(d) continue + (e)	954,25	625,15	625,15	902,60	594,18	595	719	718		
NO OF UNIT * OUTPUT OF GENERATOR		2 x 529,6 kW	1 x 529,6 kW	1 x 529,6 kW	2 x 529,6 kW						
PERCENTAGE %		90,1%	80,3%	80,3%	66,3%	56,1%	56,2%	67,8%	67,8%		
STANDBY GENERATOR		1 x 529 kW									

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk memenuhi kebutuhan daya pada kecepatan operasional kapal 20 knot, 25 knot dan 27 knot kapal fast patrol boat 60 m menggunakan dua buah mesin penggerak utama merk MTU 16V 4000 M93 dengan kapasitas daya maksimal masing-masing 2720 kW.
2. Untuk memenuhi kebutuhan daya penggerak kapal pada kecepatan operasional kapal 12 knot kapal fast patrol boat 60 m menggunakan dua buah motor listrik merk SIEMENS PM motor generator tipe 1FV5168 8WS24 dengan kapasitas daya maksimal masing-masing 260 kW.
3. Untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan kapal dan listrik untuk propulsi kapal menggunakan 3 buah generator merk MTU generator set tipe 12V1600 DS730 kapasitas daya maksimum 529,6 kWel.
4. Dengan menggunakan sistem propulsi hybrid biaya investasi lebih besar \$ 338.288,67 di bandingkan sistem propulsi mekanis. Jika dibandingkan dengan menggunakan sistem propulsi elektrik biaya investasi menggunakan sistem propulsi hybrid lebih rendah \$ 899.542,39.
5. Dengan menggunakan sistem propulsi hybrid biaya operasional kapal lebih rendah \$ 72.316,93 di bandingkan penggunaan sistem propulsi elektrik. Dibandingkan dengan menggunakan sistem propulsi elektrik biaya operasional kapal menggunakan sistem propulsi hybrid \$ 29.262,66.

6. Untuk menunjang operasional kapal Fast patroli boat 60 m perencanaan sistem propulsi terbaik untuk kapal Fast patro boat 60 m menggunakan sistem propulsi hybrid.

5.2. Saran

Dilakukan analisa *life time* engine pada penggunaan sistem propulsi mekanis mengingat dengan menggunakan sistem propulsi mekanis main engine tidak dapat selalu beroperasi pada beban maksimal. Hal ini berpengaruh pada biaya untuk maintenance main engine.

DAFTAR PUSTAKA

- Bimantoro, T. (2014). Analisa Penerapan Sistem Hybrid Pada Kapal KPC-28 Dengan Kombinasi Diesel Engine dan Motor Listrik yang Disuplai Dengan Baterai . *Jurnal Teknik POMITS Vol. 3*.
- Halim, M. (2010). In M. Halim , *Studi Perancangan Diesel Electric Propulsion Untuk Kapal Fast Patrol Boat 60 m*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Koenhardono, E. S. (2014). Manajemen Pembangkitan Daya Pada Kapal Patroli Trimaran Dengan Sistem Propulsi Hybrid Shaft Generator Berbasis Neural Network. In E. S. Koenhardono, *Manajemen Pembangkitan Daya Pada Kapal Patroli Trimaran Dengan Sistem Propulsi Hybrid Shaft Generator Berbasis Neural Network*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kwasieckyj, B. (2013). Hybrid Propulsion Systems Efficiency Analysis and Design Methodology of Hybrid Propulsion Systems. In B. Kwasieckyj. Augsburg: Delft University of Technology.
- Masroeri, A. A., & Asianto. (1999). Diktat Perancangan Kamar Mesin. In A. A. Masroeri, & Asianto, *Diktat Perancangan Kamar Mesin*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugroho, H. (2011). Aplikasi Sistem Propulsi Hybrid Shaft Generator (Propeller dan Waterjet) Pada Kapal Patroli Trimaran .
- Syafaruddin, A. (1990). *Alat alat dalam pembelanjaan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Tugino. (2004). Faktor Faktor Penggunaan Value Engineering.
- Wyndiandari, A., & Wahyudi, D. (2011). Methodology of The Hybrid Propulsion System (DMP&DEP) For Trimaran Type Fast Patrol Boat. *KAPAL- Vol. 8*.

BIODATA PENULIS



Lahir di Trenggalek, 25 Juli 1993, Penulis yang bernama lengkap Hangga Krisna Prsetya merupakan anak ke lima dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal SD Negeri 2 Winong, SMP Negeri 1 Tugu, SMA Negeri 1 Karang. Penulis Tercatat sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) , masuk pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN tulis dengan nomor registrasi 4212100093. Dalam menyelesaikan skripsi ini penulis mengambil bidang studi *Marine Electrical Ana Automation System (MEAS)*. Selama masa perkuliahan penulis terlibat aktif dalam kepengurusan JMMI ITS 2013-2014, KPU HIMASISKAL 2014, dan Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM) ITS 2014-2015 serta beberapa kepengurusan lainnya.