

**PERENCANAAN *POWER TAKE OFF* PADA SISTEM
PROPULSI KAPAL FERI KMP.BONTOHARU**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik
pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas
Hasanuddin*



Diusulkan oleh:

AGUNG SETIAWAN

(D33115306)

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN *POWER TAKE OFF* PADA SISTEM PROPULSI KAPAL
FERI KMP.BONTOHARU**

Disusun dan diajukan oleh:

AGUNG SETIAWAN

D331 15 306

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 09 Juni 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D

NIP.196904042000031002

Pembimbing Pendamping,


Haryanti Rivai, ST., MT., Ph.D

NIP.197902252002122001

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan




Dr. Eng. Haisal Mahmudin, ST., M.Inf., M Eng.

NIP.198102112005011003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Agung Setiawan
NIM : D331 15 306
Program Studi : Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

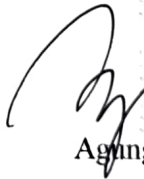

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

Perencanaan *Power Take Off* Pada Sistem Propulsi Kapal Feri KMP. Bontoharu

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 09 Juni 2021
Yang membuat pernyataan,



Agung Setiawan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME atas segala limpahan rahmat, kasih dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan serta doa dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Ibunda tercinta Hanna dan keluarga, yang selalu memberi semangat baik dalam keadaan susah maupun senang, membimbing dan membantu dari segi moril dan materi, demi berlangsungnya kegiatan perkuliahan saya di Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.eng selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Andi Haris Muhammad, S.T, M.T, Ph.D selaku pembimbing I dan Ibu Haryanti Rivai, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen penasehat akademik (PA) sekaligus pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.

4. Ibu Ir. Sherly Klara, M.T dan Bapak Ir. Zulkifli M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
5. Dosen-Dosen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama dalam proses proses perkuliahan.
6. PT. ASDP Cabang Bulukumba yang telah bekerja sama memberikan data-data yang dibutuhkan dalam skripsi ini.
7. Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Teman-teman Connect Group yang selalu mendoakan, memberi dukungan dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
9. Teman-teman jurusan Perkapalan khususnya KMKO Perkapalan 2015 dan Teknik Sistem Perkapalan 2015 yang selalu memberi motivasi dan dukungan serta waktu yang telah dilalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca umumnya dan penulis khususnya.

Gowa, 09 Juni 2021

Agung Setiawan

ABSTRAK

“Perencanaan *Power Take Off* Pada Sistem Propulsi Kapal Feri Kmp.Bontoharu”

Oleh: Agung Setiawan

Transportasi laut yang efisien merupakan salah satu kebutuhan penting di Indonesia. Kondisi perairan Indonesia yang terdiri dari ribuan gugusan pulau menjadi tantangan tersendiri dalam mendesain alat transportasi laut yang efisien dalam pengoperasian. Kapal *ferry* merupakan transportasi laut yang sedikitnya digunakan oleh sekitar 7 juta orang setiap tahunnya. Untuk mengefisienkan pengoperasian sebuah kapal *ferry* maka pada penelitian ini akan membahas perencanaan sistem kelistrikan *hybrid* pada kapal *ferry* dengan menerapkan dan memanfaatkan daya yang berlebih pada penerapan sistem propulsi mekanik atau yang disebut *power take off* (PTO), dengan mengidentifikasi pengaruhnya terhadap efisiensi bahan bakar yang dibutuhkan untuk kebutuhan kelistrikan dalam hal ini *Auxiliary Engine* (Generator). Pada perencanaan sistem *power take off* (PTO) ini dilakukan perhitungan manual menggunakan persamaan empirik dengan menganalisa tahanan kapal, daya engine yang dibutuhkan untuk sistem propulsi dengan bervariasi muatan DWT mulai dari muatan kosong hingga muatan penuh. Pada muatan DWT kapal kosong daya PTO yang didapatkan daya PTO sebesar 671.305 KW jika kapal bermuatan kosong dan bergerak pada kecepatan 9 knot kemudian 0 (tidak ada daya PTO) pada saat kapal memiliki muatan dan bergerak pada kecepatan diatas 12 knot. Daya PTO yang didapatkan kemudian disimpan pada baterai, dimana daya tersebut dapat digunakan untuk kebutuhan kelistrikan pada kapal seperti penerangan, alat bantu dan membuka dan menutup *ramdoor* serta dengan menerapkan mode PTO dapat mengurangi penggunaan bahan bakar *Auxiliary Engine* (generator set) hingga 327,6 liter pada setiap pelayaran dan hingga 2620,8 liter dalam empat kali pelayaran pergi dan pulang rute Bira-Tondasi selama satu bulan.

Keyword : Sistem *power take off* (PTO), Kapal Feri

ABSTRACT

“Planning Power Take Off On The Ferry KMP.Bontoharu’s Propulsion System”

By: Agung Setiawan

Sea transportation that is efficient is one of the important needs in Indonesia. The condition of Indonesian waters which consists of thousands of island clusters is a challenge in designing sea transportation that is efficient in operation. Ferry is a sea transportation that is used by at least 7 million people every year. To streamline the operation of a ferry, this study will discuss the planning of a hybrid electrical system on a ferry by applying and utilizing excess power in the application of a mechanical propulsion system or what is called a power take off (PTO), by identifying its effect on the required fuel efficiency. for electrical needs, in this case the Auxiliary Engine (generator set). In this power take off (PTO) system planning, manual calculations are carried out using empirical equations by analyzing the ship resistance, engine power required for the propulsion system by varying the DWT load from 0% empty load to 100% full load. On the DWT load of an empty ship, the PTO power obtained is 671.305 KW if the ship is empty and moves at a speed of 9 knots then 0 (no PTO power) when the ship has a load and moves at a speed above 12 knots. The PTO power that is obtained is then stored in the battery, where this power can be used for electrical needs on the ship such as lighting, aids and opening and closing the ramdoor and by implementing the PTO mode can reduce the use of Auxiliary Engine (generator set) fuel up to 327.6 liters on each voyage and up to 2620.8 liters in 4 (four) round trips on the Bira to Tondasi route for 1 month.

Keyword : Power Take Off (PTO) system, Ferry

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kapal Feri	7
2.2 Tahanan Kapal Terhadap Daya	7
2.3 Sistem Propulsi	8
2.4 Mode <i>Power Take Off</i> (PTO)	11
2.5 Komponen Sistem <i>Power Take Off</i>	13

2.6	<i>Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		22
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	22
3.2	Metode Pengambilan Data.....	22
3.3	Tahapan Penelitian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Identifikasi Muatan Kapal	30
4.2	Tahanan Kapal dan Kebutuhan Daya	31
4.3	Efisiensi Propulsi.....	34
4.4	Analisa <i>Engine Matching Propeller (EMP)</i>	36
4.5	Konsep Desain Konfigurasi Sistem.....	42
4.6	Generator PTO.....	46
4.7	Baterai.....	46
4.8	Frekuensi Inverter.....	49
4.9	Identifikasi Penggunaan Bahan Bakar.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Propulsi Mekanik	10
Gambar 2.2 <i>Energy Flow In PTO Mode</i>	12
Gambar 2.3 Gambaran Umum Sistem Propulsi <i>Hybrid</i>	13
Gambar 3.1 Mesin Utama KMP.Bontoharu.....	25
Gambar 3.2 <i>Main Swicth Board</i> KMP.Bontoharu	26
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	29
Gambar 4.1 Hubungan Displasmen Kapal dan Muatan DWT (%)......	31
Gambar 4.2 Hubunga Antara Kecepatan Kapal (knot) dan Tahanan Kapal (KN)	33
Gambar 4.3 Hubungan Antara Kecepatan Kapal (knot terhadap Daya EHP (KW).....	34
Gambar 4.4 KT, KQ, J <i>Sea Trial</i> dan Efisiensi <i>Open Water</i>	38
Gambar 4.5 KT, KQ, J <i>Sea Magrin</i> dan Efisiensi <i>Open Water</i>	41
Gambar 4.6 Skema Sistem PTO	43
Gambar 4.7 Daya BHP (KW) dan PTO (KW).....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi Utama Kapal.....	23
Tabel 3.2 Koefisien-koefisien Kapal.....	23
Tabel 3.3 Data Propeller Kapal.....	24
Tabel 3.4 Spesifikasi Mesin Induk Kapal KMP. Bontoharu.....	24
Tabel 3.5 Spesifikasi Mesin Bantu Kapal KMP. Bontoharu	25
Tabel 3.6 Kebutuhan Kelistrikan Deck Kapal	25
Tabel 3.7 Data Kapasitas Muatan Kapal	26
Tabel 3.8 Pelaksanaan Penelitian.....	28
Tabel 4.1 Jumlah Muatan Kapal	30
Tabel 4.2 Kecepatan Kapal (knot) dan Tahanan Kapal (KN).....	32
Tabel 4.3 Kecepatan Kapal (knot) dan Daya EHP (KW)	33
Tabel 4.4 Kecepatan Air Masuk.....	35
Tabel 4.5 Data Analisa EMP <i>Sea Trial</i>	37
Tabel 4.6 BHP berdasarkan KT <i>Sea Trial</i>	39
Tabel 4.7 Data Analisa EMP <i>Sea Margin</i>	40
Tabel 4.8 BHP berdasarkan KT <i>Sea Margin</i>	42

Tabel 4.9 Daya dari Mode PTO KMP. Bontoharu	44
Tabel 4.10 Spesifikasi Generator Alternator PTO	46
Tabel 4.11 Spesifikasi Baterai	47
Tabel 4.12 Jumlah Energi Yang Dihasilkan	48
Tabel 4.13 <i>Discharge</i> Baterai	49
Tabel 4.14 Spesifikasi Frekuensi Inverter.....	50
Tabel 4.15 Konsumsi Bahan Bakar Harian Untuk Kebutuhan Kelistrikan Kapal	51
Tabel 4.16 Konsumsi Bahan Bakar Untuk Kebutuhan Kelistrikan Kapal Dalam 1(Satu) Bulan.....	51
Tabel 4.17 Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Rekaman Penggunaan Daya Pada Main Swicth Board.....	52

DAFTAR NOTASI

A	= Luasan area permukaan <i>photovoltaic module</i>	(m ²)
E _{out}	= Energi yang dihasilkan	(Wh)
I	= Arus yang dibangkitkan	(Ampere)
V	= Tegangan	(Volt)
v	= Kecepatan	(knot) atau (m/s)
DWT	= Dead Weight Tonnage	(Ton)
LWT	= Light Weight Tonnage	(Ton)
D	= Berat Keseluruhan Kapal	(Ton)
RT	= Resistant Total	(KN)
EHP	= Effective Horse Power	(HP) atau (KW)
DHP	= Delivery Horse Power	(HP) atau (KW)
BHP/PB	= Brake Horse Power	(HP) atau (KW)
n	= Putaran mesin	(RPM)
SFOC	= <i>Spesific Fuel Oil Consumption</i>	(g/KWh)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara maritim berbentuk kepulauan, yang terdiri dari gugusan pulau hal ini menjadikan Indonesia sangat membutuhkan sarana transportasi laut yang memadahi untuk menghubungkan satu pulau dengan pulau lainnya guna mobilitas masyarakat juga pertumbuhan ekonomi. Untuk itu guna sarana transportasi masyarakat yang baik dan memadahi Kapal Feri adalah salah satunya. [Habibi,dkk. 2016] Kapal Feri adalah kapal khusus yang dibuat atau dibangun untuk penyeberangan barang dan penumpang, dengan jarak pelayaran pendek dan dekat, dengan melintasi sungai, kawasan pelabuhan, juga sepanjang pantai atau pulau. Kapal feri beroperasi sepanjang pantai suatu pulau dan atau antar pulau yang hanya membawa sedikit kendaraan dan penumpang. [Khooban. 2019] Saat ini, perjalanan laut meningkat karena kepraktisan dan biaya rendah. Kapal feri memainkan peran penting dalam industri pariwisata laut untuk mentransfer penumpang dan wisatawan. Namun demikian, kapal feri tradisional mengkonsumsi sejumlah besar bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi yang diperlukan untuk motor mereka dan membawa muatan.

Kebutuhan akan kapal Feri dengan berbagai fungsi mengharuskan kita untuk membuat kapal dengan pengoprasian yang lebih efisien. Efisiensi pengoprasian kapal Feri merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan tak terkecuali efisiensi kecepatan kapal juga efisiensi bahan bakar yang digunakan

[Younis.2011].Perencanaan kapal perlu memperhatikan banyak faktor, mulai jarak operasional, kapasitas muat, kondisi oseanografis wilayah operasional kapal, infrastruktur pelabuhan dan dermaga, sampai dengan konsep kenyamanan penumpang.

[Hangga,dkk.2016] 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. Kendaraan *hybrid* kini telah mapan di darat sebagai moda transportasi yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan berbagai sumber energi dan konverter memungkinkan manfaat individu mereka untuk dimanfaatkan dengan lebih baik, dengan mengeksploitasi perbedaan yang melekat antara permintaan daya puncak dan rata-rata[Schofield et al. 2005].

[Pereira.2007] menyebutkan sistem pro-pulsi *hybrid* diesel listrik telah berkembang sejak abat ke-20 dan teknologi ini telah digunakan untuk pertama kalinya pada sebuah kapal pe-rang Amerika. Sejumlah keunggulan sistem propulsi *hybrid* diesel listrik dibanding sistem propulsi konvensional diantaranya adalah sistem propulsi ini dapat mengurangi konsumsi bahan bakar[Sofras dan Prousalidis. 2014], biaya perawatan sistem yang murah[Geertsma *et al.* 2017].

Sistem propulsi *hybrid* pada kapal merupakan perkembangan teknologi di dunia maritim. Beberapa peneliti dunia juga Indonesia telah melakukan penelitian tentang sistem penggerak kapal secara *hybrid*. Bahkan di negara-negara maju sistem tersebut telah dikembangkan. Sistem *hybrid* pada kapal terbagi menjadi tiga mode diantaranya; mode *Power Take In* (PTI), *Power Take Off*

(PTO) dan *Power Take Home* (PTH). Penelitian ini akan berfokus pada perencanaan sistem atau mode *Power Take Off* (PTO) pada kapal feri KMP. Bontoharu. Dimana berdasarkan identifikasi awal yang ada, mesin induk kapal tersebut memiliki kelebihan daya yang dapat ditangkap melalui gearbox dan alternator dengan menerapkan mode PTO, kemudian disimpan pada baterai guna kebutuhan kelistrikan pada kapal seperti penerangan, alat bantu, serta membuka dan menutup *ramdoo*, dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengurangan bahan bakar *auxiliary engine* (generator set) kapal saat menerapkan mode *power take off* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah;

1. Bagaimana menggunakan sistem *power take off* (PTO) pada kapal feri?
2. Bagaimana mengidentifikasi kelebihan daya dari mesin induk pada kecepatan oprasional dan muatan kapal tertentu dengan menggunakan sistem propulsi konvensional dalam hal ini mode *power take off* (PTO)?
3. Bagaimana mengidentifikasi pengurangan penggunaan bahan bakar pada kapal feri dengan menerapkan sistem *power take off* (PTO)?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengidentifikasi kelebihan daya dari mesin induk sesuai engine matching propeller pada kecepatan dan muatan kapal tertentu.
2. Untuk merencanakan daya *power take off* (PTO) yang didapatkan pada kecepatan dan muatan tertentu kapal.
3. Untuk mengetahui berapa besar konsumsi bahan bakar *auxiliary engine* (generator) yang dapat dikurangi

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menjadikan kapal feri sebagai alat transportasi laut yang efisien dalam pengoperasiannya.
2. Sebagai saran belajar tentang sistem penggerak *hybrid* pada kapal dalam hal ini sistem PTO,
3. Mengurangi penggunaan bahan fosil secara berlebihan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis menetapkan beberapa batasan masalah agar tujuan dapat tercapai, diantaranya :

1. Penelitian perencanaan sistem *power take off* (PTO) akan dilakukan pada kapal feri KMP. Bontoharu
2. Perencanaan sistem *power take off* (PTO) dilakukan dengan metode perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan empirik.
3. Penelitian sistem *Power Take Off* (PTO) dianalisis dengan memvariasikan daya dalam 6 (enam) muatan DWT dengan masing-masing dioperasikan dalam 5 (lima) kecepatan kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penyusunan penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang lokasi dan waktu penelitian, metode dan alur atau tahapan – tahapan dalam penyelesaian penelitian.

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang penjelasan teori – teori yang berkaitan dan menunjang penyelesaian penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian.

BAB V PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan yang dari hasil penelitian dan saran – saran dari penulis

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Feri

Feri adalah jenis kapal yang pada umumnya digunakan untuk mengangkut penumpang atau barang dari satu pantai ke perairan lain yang lebih kecil seperti sungai atau anak sungai. Feri telah menjadi bagian dari sistem transportasi umum di banyak negara yang memiliki kondisi perairan yang luas dari lokasi geografis mereka. Feri umumnya menyediakan fasilitas transit untuk penumpang baik pemudik maupun pelancong, feri dapat mengurangi biaya modal yang diperlukan untuk membangun dan memelihara jembatan. Desain dan ukuran kapal tergantung pada panjang rute, jumlah kendaraan dan penumpang, kecepatan yang diperlukan dan kondisi air [brighthubengineering.com,2009].

2.2 Tahanan Kapal Terhadap Daya

Perencanaan propulsi kapal harus mampu mengatasi hambatan kapal. Secara umum ini terdiri dari tahanan gesekan, resistansi residual (seperti resistansi gelombang dan arus eddy) dan pada tingkat yang lebih rendah resistansi udara. Tergantung pada bentuk lambung dan kecepatan pengaruh resistensi gesekan biasanya yang terbesar untuk kapal lambat. secara umum persamaan tahanan kapal adalah sebagai berikut [Kwasieckyj,2013]:

$$R_T = \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_F \quad 2.1$$

Untuk kapal yang lebih cepat dengan angka Froude tinggi, hambatan gelombang menjadi jauh lebih berpengaruh. Untuk kecepatan kapal yang

relatif rendah, resistansi total sebanding dengan kuadrat kecepatan kapal. Karena daya adalah produk kecepatan dan hambatan, daya yang diperlukan untuk sebuah kapal adalah:

$$P_E = R_T \times v_s \quad 2.2$$

Dimana P_E adalah daya penarik kapal yang efektif, yang merupakan daya yang diperlukan untuk menarik kapal melalui air pada kecepatan tertentu.

Efisiensi pendorong η_D didefinisikan sebagai rasio dari daya penarik yang efektif terhadap daya yang dikirim ke poros baling-baling P_D .

$$\eta_D = P_E/P_D \quad 2.3$$

Dimana *Power delivered* (P_D) adalah sebagai berikut :

$$P_D = P_E/\eta_{asumsi} \quad 2.4$$

Berdasarkan nilai P_D kita dapat menentukan nilai Power brake (PB) dengan persamaan seperti :

$$P_B = P_D/\eta_{TRM} \quad 2.5$$

Di mana η_{TRM} adalah efisiensi transmisi, dengan persamaan; $\eta_S \times \eta_{GB}$.

Dimana η_S adalah efisiensi poros dan η_{GB} adalah efisiensi gearbox.

Kerugian poros disebabkan oleh gesekan pada bantalan dan tabung buritan.

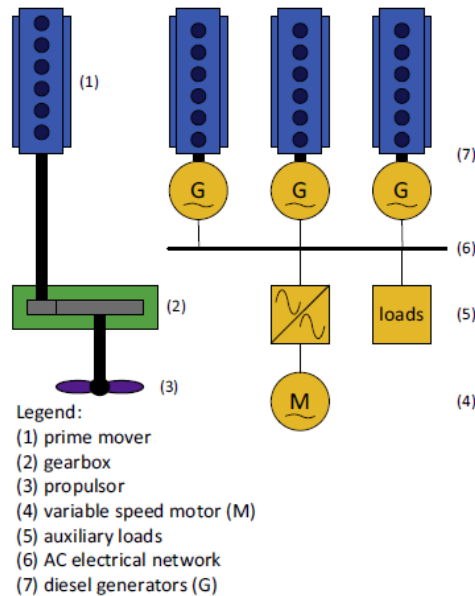
2.3 Sistem Propulsi

Selama abad ke-19 dan ke-20, mesin penggerak dikembangkan dari mesin uap timbal dan turbin uap menjadi mesin diesel dan, untuk beberapa aplikasi, turbin gas [Geertsma, 2017]. Sistem propulsi merupakan sistem penggerak kapal yang dapat mengatasi keseluruhan gaya-gaya hambat (tahanan total)

kapal yang terjadi agar dapat memenuhi standar kecepatan yang dibutuhkan. Secara umum, sistem propulsi kapal terdiri dari tiga komponen utama, antara lain: Penggerak Utama (Prime Mover), Sistem Transmisi (Transmission) dan Alat Gerak (Propulsor). Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang didalam proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah. [Hangga,dkk,2016]. Dalam hal ini propulsi dibagi dalam beberapa jenis sistem propulsi sebagai berikut;

2.3.1 Sistem ropulsi Mekanik

Sistem propulsi mekanik terdiri atas tiga komponen utama, antara lain; Motor (*Main engine*) sebagai penggerak utama, gearbox dan shaft sebagai transmisi dan propeller sebagai alat gerak. Untuk kapal yang berukuran besar seperti kargo, digerakkan oleh mesin diesel kecepatan rendah, tidak diperlukan gearbox dan pengurangan kecepatan dapat dicapai dengan membalik putaran mesin. Di sisi lain, kapal yang lebih kecil memang membutuhkan gearbox untuk mengurangi kecepatan mesin, karena mereka digerakkan oleh mesin diesel kecepatan sedang atau tinggi. Gearbox ini juga dapat digunakan untuk membalikkan rotasi poros [Geertsma, 2017].



Gambar 2.1 Sistem Propulsi Mekanik

Sumber: Elsevier

2.3.2 Sistem Propulsi *Hybrid*

Ketika kapal memiliki mode operasi di mana daya penggerak secara signifikan lebih sedikit diperlukan, mesin diesel harus berjalan pada beban rendah. Mesin diesel beroperasi dengan konsumsi bahan bakar spesifik terendah di sekitar 85% beban. Secara umum, sistem propulsi *hybrid* menawarkan potensi selama mode operasi beban-bagian ini. Performa mesin diesel yang lebih baik mungkin melawan kerugian tambahan yang diperkenalkan karena meningkatnya jumlah komponen. Perencanaan propulsi *hybrid* menggabungkan fitur sistem mekanis diesel dengan fitur pembangkit listrik diesel. Dalam bentuknya yang paling dasar, konfigurasi terdiri dari mesin diesel yang terhubung ke gearbox, yang pada gilirannya menggerakkan baling-baling. Juga terhubung ke gearbox adalah mesin listrik (EM), yang dapat beroperasi dalam mode pembangkit atau dalam mode motor. Ini

memberikan kemungkinan untuk mode Power Take Off (PTO) atau mode Power Take In (PTI). Pilihan untuk menggunakan motor listrik atau mesin diesel untuk propulsi atau bahkan keduanya menjadikannya sistem *hybrid*. Konsep propulsi *hybrid* memiliki potensi untuk memperluas area operasi kapal yang menarik secara ekonomi dan lingkungan [Kwasieckyj,2013].

Kemungkinan untuk mengoperasikan mesin listrik dalam mode generator atau motor memberikan konsep *hybrid* beberapa kemungkinan mode operasi, antara lain;

2.4. Mode *Power Take Off* (PTO)

Dalam mode Power Take Off yang normal, mesin utama menggerakkan baling-baling melalui gearbox. Generator terhubung di gearbox yang menyediakan daya listrik untuk beban tambahan kapal, lihat gambar 2.3.

Dalam pengoperasian ini, mesin utama adalah satu-satunya penggerak utama yang beroperasi, yang beroperasi pada beban tinggi dan karenanya efisien.

Adapun beberapa tipe dari *Power Take Off* (PTO) adalah sebagai berikut;

2.5.1 PTO *Gear Constant Ratio*

PTO tipe ini merupakan PTO paling sederhana dibandingkan jenis lainnya. Hal ini dapat dilihat dari tidak adanya kontrol kecepatan atau frekuensi sistem kontrol dalam pengoperasiannya. Pada umumnya tipe ini digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dengan kontrol frekuensi yang konstan sepanjang pengoperasiannya, karena frekuensi pada alternator sebanding terhadap kecepatan engine. Pada kondisi ini engine harus dioperasikan pada kecepatan

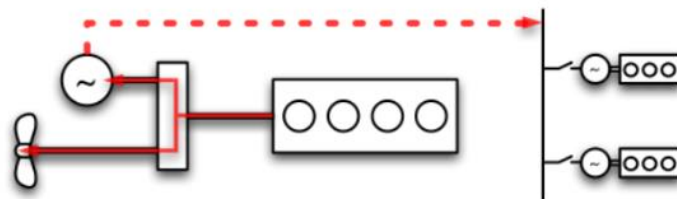
konstan. Sebagai alternatif PTO tipe ini dapat digunakan dengan pembangkit tenaga floating frekuensi antara 50 Hz dan 60 Hz.

2.5.2 PTO Renk Constant Frequency

Prinsip kerja PTO tipe ini banyak digunakan pada kapal yang menggunakan Fix Pitch Propeller. PTO ini juga berdasarkan prinsip mekanis hidrolis yang mengontrol kecepatan putaran, sehingga frekuensi listrik yang dihasilkan generator relative stabil.

2.5.3 PTO Constant Frequency Electrical

PTO tipe ini mampu menghasilkan listrik dengan frekuensi elektrik konstan dimana tipe ini dapat mengontrol frekuensi yang masuk agar frekuensi keluaranya stabil dengan menggunakan peralatan elektronik. Pada umumnya tenaga listrik diproduksi dengan bermacam-macam frekuensi dan setelah itu dikonversi oleh transistor yang mengendalikan ke tenaga listrik yang dibutuhkan dengan frekuensi yang tetap.



Gambar 2.2 Energy Flow In PTO Mode

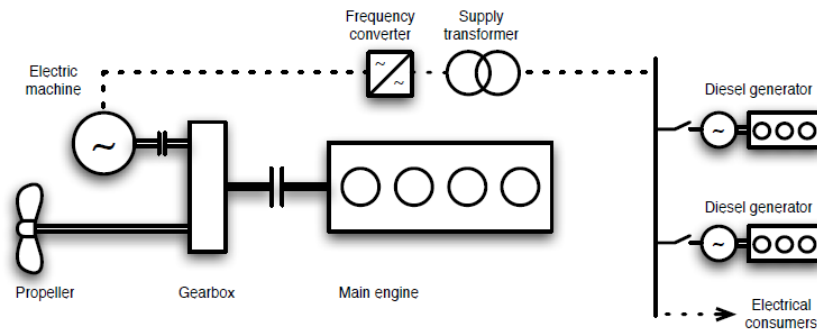
Sumber: Hybrid Propulsion System, 2013

Dimana dalam kasus pengoprasian mode *power take off* (PTO), nilai atau daya PTO bergantung pada besarnya nilai *brake horse power* (BHP) dan BHP_{MCR} . Seperti pada persamaan 2.1 berikut ;

$$BHP = 0.75 (BHP_{MCR} - PTO) \quad 2.6$$

2.5. Komponen Sistem *Power Take Off*

Sistem propulsi *hybrid* terdiri dari beberapa komponen, seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Berikut merupakan penjelasan serta pengaplikasian daripada komponen-komponen tersebut;



Gambar 2.3 Gambaran umum Sistem Propulsi *Hybrid*

Sumber: *Hybrid Propulsion System*, 2013

2.5.1 Diesel Engine

Mesin diesel adalah penggerak utama dengan fungsi untuk mengubah energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Mesin diesel memiliki efisiensi tinggi. Konsumsi bahan bakarnya yang rendah adalah alasan utama ia digunakan secara luas dalam di dunia maritim. Mesin diesel adalah mesin pembakaran internal resiprokal, yang mengubah tenaga kimia menjadi tenaga mekanis pada poros keluaran dalam dua langkah: pertama, bahan bakar akan menghasilkan energi panas dengan cara pembakaran. Ini menyebabkan ekspansi gas pembakaran di dalam silinder, melakukan kerja pada piston. Pekerjaan yang dikirim ke piston diterjemahkan ke dalam pekerjaan rotasi pada poros engkol, dengan memindahkan gerakan bolak-balik piston ke gerakan memutar pada poros engkol. Ini adalah poros

keluaran dan dapat dihubungkan ke baling-baling (untuk aplikasi kecepatan sedang biasanya melalui gearbox reduksi) atau generator.

Jenis mesin, jumlah dan tenaga remnya sangat menentukan biaya pembelian awal pembangkit listrik. Karena mesin berjalan pada efisiensi optimal dengan beban sekitar 85%. Berikut merupakan persamaan dari perbandingan dari *continuous service rating* (CSR) *maximum continuous rating* (MCR).

$$EM = \frac{CSR}{MCR} \quad 2.7$$

sea margin(SM) perbandingannya sebagai berikut:

$$SM = \frac{P_{B \text{ Service}}}{P_{B \text{ Trial}}} \quad 2.8$$

2.5.1.1 Daya

Kerja efektif pada piston adalah produk dari tekanan selama stroke ekspansi dan volume stroke. Berikut persamaan daya efektif atau daya rem terkait dengan kerja efektif W_e pada piston untuk siklus lengkap:

$$P_B = W_e \cdot \frac{n \cdot i}{k} \quad 2.9$$

Dimana n kecepatan putaran mesin, i adalah jumlah silinder, dan faktor $1/k$ untuk mesin 2 langkah $k = 1$ dan $k = 2$ untuk mesin 4 langkah.

2.5.2 Gearbox

Fleksibilitas yang tinggi dalam sistem *hybrid* menetapkan persyaratan untuk kompleksitas gearbox. Gearbox memiliki banyak fungsi, di mana segala kombinasi fitur ini dimungkinkan antara lain:

- Ubah kecepatan rotasi dari poros input ke poros output.

- Menggabungkan beberapa drive ke satu poros (mesin diesel / PTI ke baling-baling) atau satu drive ke beberapa output (mesin diesel ke baling-baling / PTO).
- Dalam kasus FPP digunakan dengan mesin non-reversibel: arah terbalik dari baling-baling.
- Beralih di antara jumlah input, output, dan / atau kecepatan rotasi.

2.5.2.1 Konfigurasi Gearbox

Sebagian besar gearbox yang ditemukan di kapal adalah konfigurasi paralel yang dibangun untuk menghubungkan roda dan pinion dengan gigi. Pada gigi tunggal dasar, mesin menggerakkan pinion dengan diameter kecil dan sejumlah kecil gigi. Pinion ini menggerakkan roda utama dengan diameter lebih besar dan jumlah gigi. Karena gigi saling menyatu, kecepatan lingkaran mereka sama. Tetapi karena diameter yang berbeda, kecepatan rotasi roda output berkurang. Rasio reduksi i didefinisikan sebagai:

$$i = \frac{n_e}{n_p} \quad 2.10$$

Dengan n_e kecepatan input mesin diesel dan n_p kecepatan baling-baling.

Gearbox mentransfer daya, sehingga dapat juga dinyatakan bahwa:

$$M_s = \eta_{GB} \cdot i \cdot M_B \quad 2.11$$

Oleh karena itu sisi kecepatan tinggi juga disebut sebagai sisi torsi rendah (torsi rem di sisi mesin, M_B) dan sisi kecepatan rendah sebagai sisi torsi tinggi (poros torsi, M_s).

2.5.2.2 Daya

Daya yang dapat ditransmisikan oleh gearbox bukanlah faktor pembatas, pada pengaplikasian lebih dari 60 MW dapat terjadi, tenaga diberikan dalam dimensi torsi, atau kW / rpm. Jika daya ditransmisikan dalam satu arah saja, hanya satu sisi gigi yang perlu mengeras. Jika gearbox harus dapat mentransmisikan daya dalam operasi terbalik, kedua sisi gigi harus mengeras. Perhatikan bahwa operasi mundur hanya berlaku untuk arah daya, bukan ke arah rotasi roda.

2.5.2.4 Kecepatan

Pabrikan Gearbox memberikan rasio gigi maksimum sekitar 10 untuk unit tahap tunggal dan sekitar 25 untuk unit dua tahap. Untuk mesin kecepatan sedang di MDT dengan kecepatan maksimum 1000 rpm, gigi reduksi satu tahap biasanya cukup untuk mencapai kecepatan baling-baling sekitar 100 rpm. Motor listrik dapat memiliki kecepatan yang lebih tinggi. Dalam hal ini kadang-kadang diperlukan tahap reduksi kedua. Dalam rentang kecepatan mesin diesel, motor listrik dan baling-baling tidak ada batasan untuk gearbox.

2.5.2.4 Efisiensi

Efisiensi gearbox didapatkan dengan persamaan :

$$\eta_{GB} = \frac{M_s}{i.M_b} \quad 2.12$$

Tidak ada kehilangan beban yang terjadi dengan memercikkan minyak pelumas dengan mengaduk, membuat minyak lebih hangat, kerugian atau kehilangan ini lebih tergantung pada kecepatan. Untuk beban rendah dan kecepatan tinggi, kerugian tersebut akan lebih dominan. Untuk muatan yang

lebih tinggi dan pengoperasian terus-menerus, kehilangan bantalan dan gigi lebih dominan [Höhn et al, 2007].

Efisiensi nominal terdiri dari efisiensi antara gigi pengait η_t , pada bantalan roda η_b dan pada segel poros η_s . Ini membentuk efisiensi total gearbox dengan nilai:

$$\eta_{GB} = \eta_t \cdot \eta_b \cdot \eta_s \quad 2.13$$

[Muhs,2007] mengestimasi dengan nilai sebagai berikut:

$$\eta_t = 0.99$$

$$\eta_b = 0.99$$

$$\eta_s = 0.08$$

Untuk gearbox satu tahap dengan dua roda dan dua poros ini memberikan:

$$\eta_{GB} = \eta_t \cdot \eta_b^2 \cdot \eta_s^2 = 0.932 \quad 2.14$$

2.5.3 Propeller

Baling-baling baling adalah peningkatan arah aksial selama satu revolusi penuh. Ketika perpindahan ke depan lebih dari satu revolusi lebih kecil dari pitch, baling-baling akan mengembangkan daya dorong. Perpindahan aksial per revolusi (V / n) karena itu merupakan parameter penting dan dapat dibuat tanpa dimensi sebagai *ratio advance* J :

$$J = \frac{V_A}{n_p D} \quad 2.15$$

V_A adalah *advance velocity* dari propeller kapal. V_A lebih kecil dari pada kecepatan kapal V_s karena adanya pengaruh *wake* (w). Berikut persamaannya;

$$V_A = V_s (1 - w) \quad 2.16$$

Daya dorong dan torsi dapat dibuat non-dimensi dengan kecepatan, diameter baling-baling, dan kepadatan air.

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n_p^2 D^4} \quad 2.17$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n_p^2 D^5} \quad 2.18$$

Parameter ini adalah ukuran kinerja dan efisiensi baling-baling. Efisiensi air terbuka baling-baling juga dapat dinyatakan dalam istilah J , K_T dan K_Q .

$$\eta_0 = \frac{P_T}{P_0} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{T \cdot V_A}{Q \cdot n_p} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{K_T \cdot J}{K_Q} \quad 2.19$$

2.5.3.1 Controllable Pitch Propeller (CPP)

Ada dua cara untuk mengendalikan kecepatan kapal dengan CPP: baik dengan kontrol pitch pada kecepatan rotasi konstan, atau dengan beroperasi pada kurva kombinator. CPP cocok untuk berbagai kondisi operasi, karena dapat memvariasikan gaya dorong pada kecepatan konstan. Dengan mekanisme hidrolis di hub dan melalui poros baling-baling, pitch blade dapat bervariasi. Ini menghasilkan berbagai rasio P / D , memberikan diagram air terbuka yang sangat fleksibel. Dalam CPP terdapat area blade yang kurang efektif karena hub sedikit lebih besar untuk mengakomodasi mekanisme perubahan pitch. Di samping ini, rasio area blade yang diperluas tidak boleh sebesar mungkin dengan FPP karena diperlukan clearance untuk pitch negatif. Keuntungan dari CPP bukan dalam efisiensi tetapi lebih dalam kemampuan manuver. Selanjutnya, batas bawah untuk kecepatan mesin diesel 4-tak memerlukan baling-baling yang dapat menghasilkan daya dorong kecil, bahkan pada kecepatan yang lebih tinggi.

2.5.4 Generator Alternator

Generator alternator (AC) atau generator sinkron adalah perangkat elektromagnetis atau mesin listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator. Pergerakan relatif adalah terjadinya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator) karena pergerakan medan magnet terhadap kumparan jangkar atau sebaliknya. Alternator ini disebut generator sinkron karena kecepatan perputaran medan magnet yang terjadi sama dengan kecepatan perputaran rotor generator. Alternator ini menghasilkan energi listrik bolak balik (*alternating current, AC*) dan biasa diproduksi untuk menghasilkan listrik AC 1-fasa atau 3-fasa. Pengoperasian generator AC, terdapat hubungan antara frekuensi (f) dengan putaran (rpm) dimana hal tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.20.

$$F = \frac{1}{T} = P \times \frac{n}{120Hz}$$

Dimana F adalah frekuensi (Hz), T periode (detik), P jumlah kutub dan n putaran generator (rpm).

2.5.5 Baterai

Baterai merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menyimpan sementara listrik yang dihasilkan modul surya, agar dapat digunakan pada saat energi matahari tidak ada (malam hari atau cuaca), besaran kemampuan menyimpan arus listrik diukur dalam satuan watt jam (*watthour/WH*). Besarnya kemampuan menyimpan arus listrik ditentukan dari berapa besar kebutuhan

daya listrik dan kemampuan modul surya dalam mengisi baterai. Ukuran kapasitas baterai dinyatakan dalam *ampere-hours* (Ah). Kapasitas baterai (Ah) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan;

$$AH = \frac{ET}{V} \quad 2.21$$

Dimana ET adalah kebutuhan energi dan V adalah tegangan.

2.6 Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang di butuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [Baharuddin,2016].

$$SFOC = \frac{FC(kg)}{P(KW) \times t (jam)} \quad 2.22$$

$$FC = V \times \rho \quad 2.23$$

Dimana :

SFOC = *Specific Fuel Oil Consumption* (kg/KWh)

FC = massa (kg)

P = Daya (KW)

t = waktu (jam)

dimana volume bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

2.24 berikut ini

$$V = t \times P \times \text{faktor BBM} \quad 2.24$$

dimana :

V = Volume (L)

t = waktu (jam)

P = daya (KW)

faktor BBM = 0.21 (HFO)