

SKRIPSI

**PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID
PADA KAPAL PENYEBERANGAN LINTAS LEMBAR –
PADANG BAI**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUH. ALIM KHAIRI KHALQIH N.
D091181326**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID PADA KAPAL PENYEBERANGAN LINTAS LEMBAR – PADANG BAI

Disusun dan diajukan oleh


Muhammad Alim Khairi Khalqih N.
D091181326


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 21 Juni 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf., M.Eng.
NIP 19810211 200501 1003


Ir. Sherly Klara, M.T
NIP 19640501 199002 2 001

Ketua Program Studi,




Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf., M.Eng.
NIP 19810211 200501 1003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Alim Khairi Khalqih N.

NIM : D091181326

Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID PADA KAPAL
PENYEBERANGAN LINTAS LEMBAR – PADANG BAI**

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


Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 21 Juni 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Alim Khairi Khalqih N.

ABSTRAK

MUHAMMAD ALIM KHAIRI KHALQIH N. PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID PADA KAPAL PENYEBERANGAN LINTAS LEMBAR – PADANG BAI (dibimbing oleh Dr. Eng. Faisal Mahmudin S.T., M.Eng dan Ir. Syerly Klara, M.T)

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi saat ini masih menjadi prioritas utama. Akibatnya, kondisi ketersediaan bahan bakar fosil di dalam perut bumi menjadi semakin cepat menipis. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu penyebab global warming dan hujan asam akibat emisi gas yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan. Tujuan utama dari penggunaan sistem hibrid ini adalah mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dengan cara memaksimalkan penggunaan energi yang terbarukan. Sistem hibrid ini menggabungkan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada dan mengetahui kelayakan penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga hibrid (angin – panel surya dan generator) pada kapal Ro-Ro 1500 GT. Berdasarkan metode simulasi program *HOMER* serta mengetahui nilai ekonomi dari penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga hibrid pada kapal Ro-RO 1500 GT didapatkan perhitungan ekonomis berdasarkan metode homer maka dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem pembangkit listrik *hybrid* cukup menguntungkan serta mendukung program *ecoship* dimasa yang akan datang. Pembangkit listrik tenaga hibrid yang memiliki nilai ekonomis yang terbaik adalah Pembangkit listrik tenaga hibrid yang menggunakan panel surya – turbin angin dan generator. PLTH yang menghasilkan energi listrik terbesar juga berada pada PLTH turbin angin yang menghasilkan listrik sebesar 40.242 kWh/yr.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Tenaga Angin, Panel Surya, *HOMER*

ABSTRACT

MUHAMMAD ALIM KHAIRI KHALQIH N. PLANNING OF HYBRID ELECTRICITY GENERATION SYSTEMS ON CROSS-SHEET CROSSING SHIP – PADANG BAI (supervised by Dr. Eng. Faisal Mahmudin S.T., M.Eng and Ir. Syerly Klara, M.T)

The use of fossil fuels as an energy source is currently still a top priority. As a result, the availability of fossil fuels in the bowels of the earth is becoming increasingly depleted. In addition, the use of fossil fuels is one of the causes of global warming and acid rain due to gas emissions produced and discharged into the environment. The main objective of using this hybrid system is to reduce the consumption of fossil fuels by maximizing the use of renewable energy. This hybrid system combines two or more different energy sources to meet the needs of the existing load and determines the feasibility of using a hybrid power generation system (wind - solar panels and generator) on a Ro-Ro 1500 GT ship. Based on the HOMER program simulation method and knowing the economic value of using a hybrid power generation system on the Ro-RO 1500 GT ship, economic calculations based on the Homer method can be concluded that the application of a hybrid power generation system is quite profitable and supports ecoship programs in the future. Hybrid power plants that have the best economic value are hybrid power plants that use solar panels – wind turbine and generators. The PLTH that produces the largest amount of electrical energy is also a Wind Turbine PLTH which produces electricity of 40,242 kWh/yr.

Keywords: Renewable Energy, Wind Power, Solar Panels, HOMER

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Pembangkit Listrik	4
2.1.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Generator	4
2.1.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin	5
2.1.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> (Tenaga Angin - Diesel Generator)	8
2.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	10
2.1.5 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> (Panel Surya – Generator).....	12
2.2 Komponen - Komponen Pendukung Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator dan Tenaga Angin – Panel Surya	13
2.3 Rancangan Sistem <i>Hybrid</i> Menggunakan <i>Software Homer</i>	15
BAB 3 Metode penelitian.....	17
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	17
3.2 Studi Literatur	17
3.3 Pengumpulan data	17
3.4 Langkah Analisis Data	21
3.5 Kerangka Penelitian	24
BAB IV Hasil dan pembahasan	25
4.1 Analisis Beban Kelistrikan pada Kapal Ro-Ro Lintas Lembar – Padang Bai	25
4.2 Analisis Radiasi Matahari dan Kecepatan Angin.....	25
4.3 Analisa Ketersediaan Energi Surya.....	27
4.4 Analisa Ketersediaan Energi Angin	29
4.5 Pembagian Beban Kelistrikan Yang Akan Disuplai Oleh Panel Surya dan Turbin Angin.....	30
4.6 Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i>	31
4.6.1 Pemilihan <i>Battery</i>	31
4.6.2 Penentuan Inverter	34

4.7 Simulasi Model Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Menggunakan Software HOMER.....	34
4.7.1 Input Radiasi Matahari.....	34
4.7.2 Input Kecepatan Angin.....	36
4.7.3 Input Beban Harian.....	37
4.7.4 Komponen – Komponen Sistem Hybrid.....	37
4.8 Hasil Simulasi.....	41
4.8.1 Simulasi Pertama.....	41
4.8.2 Simulasi Kedua.....	42
4.8.3 Simulasi Ketiga.....	44
4.9 Perbandingan Hasil Simulasi.....	48
BAB V PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Generator Kapal	4
Gambar 2 Prinsip Kerja Generator.....	5
Gambar 3 Turbin Angin Tipe Vertikal.....	6
Gambar 4 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	7
Gambar 5 Sistem Hibrid Seri	8
Gambar 6 Sistem Saklar Hibrid	9
Gambar 7 Sistem Hibrid Pararel	9
Gambar 8 Panel Surya Polycrystalline	11
Gambar 9 Panel Surya Monocrystalline	12
Gambar 10 Sistem Pararel Hibrid	13
Gambar 11 Sistem Pararel Hibrid dengan PV Array	13
Gambar 12 Baterai	14
Gambar 13 Prinsip Dasar Inverter.....	14
Gambar 14 <i>Solar Charger Controller</i>	15
Gambar 15 <i>General Arrangement Ferry Ro-Ro Lintas Lembar – Padang Bai</i>	17
Gambar 16 Rute Pelayaran Lintas Lembar – Padang Bai.....	18
Gambar 17 <i>Wiring Diagram Ferry Ro – Ro</i>	20
Gambar 18 100% Panel Surya	21
Gambar 19 100% Turbin Angin.....	21
Gambar 20 50% Hibrid Panel Surya – 50% Turbin Angin.....	21
Gambar 21 Peletakan Panel Surya pada Kapal Ferry Ro – Ro	28
Gambar 22 Peletakan Turbin Angin pada Kapal	30
Gambar 23 Baterai LG-Chem 3.3kW	32
Gambar 24 Peletakan <i>Battery</i> Tampak Atas	33
Gambar 25 Peletakan <i>Battery</i> Tampak Samping	33
Gambar 26 Set Point Dalam Aplikasi <i>HOMER</i>	35
Gambar 27 Input Radiasi Intensitas Radiasi Matahari.....	35
Gambar 28 Input Kecepatan Angin.....	36
Gambar 29 Tampilan input beban harian	37
Gambar 30 Input Generator	38
Gambar 31 Tampilan input panel surya	39
Gambar 32 Input Baterai Pada Homer	39
Gambar 33 Input Data Turbin Angin	40
Gambar 34 Input Data Inverter	40
Gambar 35 Gambar Skematik PLTH (panel surya – generator).....	41
Gambar 36 Hasil Produksi Listrik PLTH (panel surya – generator)	42
Gambar 37 Skematik PLTH (tenaga angin – generator).....	43
Gambar 38 Hasil Produksi Listrik PLTH (angin – generator).....	43
Gambar 39 Skematik PLTH (angin – panel surya dan generator).....	44
Gambar 40 Hasil Produksi Listrik PLTH (angin – panel surya dan generator)...	45
Gambar 41 Skematik Simulasi Keempat	45
Gambar 42 Hasil Produksi Listrik PLTH (50% Panel Surya – 50% Generator)..	46
Gambar 43 Skematik Simulasi Kelima	47
Gambar 44 Hasil Produksi Listrik PLTH (50% Turbin Angin dan 50% Generator).....	47

Gambar 45 Grafik Perbandingan NPC Tiap Simulasi	49
Gambar 46 Grafik Perbandingan COE Tiap Simulasi	50
Gambar 47 Grafik Perbanding Produk Listrik PLTH	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data <i>Electric Balance</i>	19
Tabel 2 Beban Listrik Pada Kapal Ro – Ro Lintas Lembar – Padang Bai	25
Tabel 3 Hasil Input Radiasi Matahari	26
Tabel 4 Hasil Input Kecepatan Angin Rata – Rata	27
Tabel 5 Spesifikasi panel surya.....	27
Tabel 6 Total Daya Listrik Yang Dihasilkan Oleh Panel Surya	28
Tabel 7 Spesifikasi turbin angin.....	29
Tabel 8 Total Daya Listrik Yang Dihasilkan Oleh Turbin Angin	30
Tabel 9 Daya Listrik Yang Akan Disuplai Oleh Sistem Hibrid.....	31
Tabel 10 Spesifikasi Battery	32
Tabel 11 Spesifikasi Inverter	34
Tabel 12 Hasil Simulasi Pertama (100% Panel Surya).....	41
Tabel 13 Hasil Simulasi Kedua (100% Kincir Angin).....	43
Tabel 14 Hasil Simulasi Ketiga (Hibrid Panel Surya dan Turbin Angin).....	44
Tabel 15 Hasil Simulasi Keempat (50% Panel Surya – 50% Generator)	46
Tabel 16 Hasil Simulasi Kelima (50% Turbin Angin dan 50% Generator)	47
Tabel 17 Tabulasi Hasil Perbandingan Simulasi	48

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
A	Luas area	m ²
AC	<i>Alternating current</i>	A
Ah	<i>Ampere hours</i>	
BEP	<i>Break even poin</i>	
CF _N	Arus kas bersih tahun	Rp
CF _{in}	Nilai penghematan BBM dalam setahun	Rp
CF _{out}	Biaya operasional dan pemeliharaan setahun	Rp
Cp	<i>Power coefficient</i>	%
DC	<i>Direction current</i>	A
E	Energi surya	Wp
ESS	<i>Energy stronge system</i>	
GGL	Gaya gerak listrik	Volt
HOMER	<i>Hybrid optimization model for electric renewables</i>	
I	Isolasi/intensitas	
i	Tingkat diskon	%
IRR	<i>Internal of rate return</i>	%
IMO	<i>International Maritime Organization</i>	
m	Massa bayu	Kg
M	Milyar	Rp
MARPOL	<i>Marine polution</i>	
MEPC	<i>Marine Environment Protection Commite</i>	
NPV	<i>Net present value</i>	Rp
NASA	<i>National Aeronautic and space administration</i>	
NPC	<i>Net Present Cost</i>	Rp
N	Jumlah periode	Tahun

PBP	<i>Payback period</i>	Tahun
ρ	Massa jenis	Kg/m ³
PLTS	Pembangkit listrik tenaga surya	
PLTH	Pembangkit Listrik tenaga Hybrid	
PLTD	Pembangkit listrik tenaga diesel	
PV	<i>Photovoltaic</i>	
SMSE	<i>Serface meteorology and solar energy</i>	
t	Periode arus kas	Tahun

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembaran Data Panel Surya	56
Lampiran 2 Lembaran Data Turbin Angin.....	58
Lampiran 3 Lembaran Data Inverter.....	60
Lampiran 4 Lembaran Data Baterai	61
Lampiran 5 Lembaran Data Generator Kapal	62
Lampiran 6 Hasil Input RetScreen	65
Lampiran 7 Electric Balance Ferry Ro – Ro Lintas Lembar – Padang Bai	66
Lampiran 8 Wiring Diagram Ferry Ro – Ro Lintas Lembar – Padang Bai	67
Lampiran 9 Hasil Simulasi <i>HOMER</i>	68

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Pada Kapal Penyeberangan Lintas Lembar – Padang Bai. Skripsi ini dibuat dan disusun sebagai salah satu syarat yang harus dilengkapi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selesainya Skripsi/Tugas Akhir (TA) ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui ini penulis memberikan ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada beberapa pihak yang berjasa selama saya kuliah:

1. Kepada A. Tenri Sau sebagai ibu penulis karena telah menjadi orang tua yang selalu memberikan motivasi, kasih sayang, perhatian dan doa.
2. Kepada M. Deddy Nazril sebagai ayah penulis karena telah menjadi ayah yang selalu memberi dukungan dan arahan kepada penulis.
3. Kepada Yaya Soraya yang telah menjadi mentor selama hidup penulis dan memberikan segala bantuan yang diperlukan penulis untuk berada diposisi seperti ini.
4. Dr. Eng. Faisal Mahmudin S.T., M.Eng selaku ketua departemen sekaligus dosen pembimbing I yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu penulis dengan memberikan bimbingan, kritik, dan saran.
5. Ir. Syerly Klara, M.T selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta mengarahkan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
6. Ir. Zulkifli, M.T selaku dosen yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian ini berlangsung.
7. Rahimuddin, S.T., M.T., PhD dan Muhammad Iqbal Nikmatullah, S.T., M.T selaku dosen penguji.
8. Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas

Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama proses perkuliahan.

9. Staf Tata Usaha Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah membantu segala aktivitas administrasi baik selama perkuliahan dan juga dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Teman-teman SISTER18 yang telah membantu penulis mengerjakan tugas-tugas dari awal semester 1 hingga pengerjaan skripsi selesai.
11. Teman-Teman Bidadari Sister18 yang telah membantu penulis untuk tetap giat dan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
12. Teman – Teman Zamberlap yang selalu mengisi hari – hari penulis dengan ke unikan mereka sendiri.
13. Terkhusus kepada squ,usop,prank, dan tampias yang selalu mengisi kekosongan penulis selama lebih dari 3 tahun 24 bulan ini.
14. Kepada NF yang selalu mengingatkan penulis untuk mengerjakan penelitian ini dan mendukung penulis selama penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Wassalamualaikum
Wr. Wb.

Gowa, 16 Januari 2023

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi saat ini masih menjadi prioritas utama. Akibatnya, kondisi ketersediaan bahan bakar fosil di dalam perut bumi menjadi semakin cepat menipis. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu penyebab global warming dan hujan asam akibat emisi gas yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan. Dengan semakin maraknya isu lingkungan termasuk di bidang maritim, Komite Perlindungan Lingkungan Kelautan (MEPC) sebagai salah satu unit di Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah melakukan revisi terhadap Annex VI MARPOL bagi pengurangan secara bertahap kadar emisi oksida belerang (SO_x), NO_x, serta CO₂ dari kapal. Revisi Annex VI MARPOL tersebut dilakukan dalam rangka mensukseskan peraturan IMO TIER III, dimana untuk kapal dengan mesin diesel generator yang dibangun sejak 1 Januari 2016 dan sesudahnya harus memenuhi kadar emisi NO_x sebesar 3,4 g/kWh serta untuk kapal yang dibangun sebelum tahun 2000 sebesar 17 g/kWh (Wang H, 2014).

Bagi semua kapal yang akan memasuki wilayah perairan suatu negara, yang telah meratifikasi Annex VI MARPOL, harus memenuhi standar sesuai peraturan tersebut. Oleh karena itu, saat ini berbagai riset telah dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang dari kapal, salah satu diantaranya adalah penggunaan sistem hybrid di kapal, seperti pada sistem pembangkit listriknya. Manfaat utama dari penggunaan sistem hybrid adalah pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dengan cara memaksimalkan penggunaan energi yang berwawasan lingkungan ataupun peningkatan efisiensi motor bakar.

Sistem hybrid merupakan konsep penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Salah satu sistem pembangkit listrik hybrid yang berpotensi untuk dikembangkan di kapal yang beroperasi di Indonesia adalah kombinasi antara sel surya (Photovoltaic) dengan diesel generator. Hal ini dikarenakan letak geografis Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Potensi sumber energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per

hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari (Kementrian ESDM, 2010).

Kapal Ferry Ro – Ro Lintas Lembar - Padang Bai ini memiliki 3 generator yang digunakan dalam kapal. Untuk mengurangi emisi bahan bakar yang dihasilkan oleh kapal ini kita merencanakan sistem pembangkit listrik *hybrid* pada kapal ini.

1.2 Rumusan Masalah

Terdapat beberapa rumusan masalah yang diambil yaitu :

1. Bagaimana merencanakan dan manajemen sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (tenaga angin – surya dan generator) pada kapal Ro-Ro berdasarkan simulasi ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pembebanan listrik sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (tenaga angin – surya dan generator) pada kapal Ro – Ro berdasarkan simulasi ?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui kelayakan penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (tenaga angin – surya dan generator) pada kapal Ro-Ro 1500 GT berdasarkan simulasi program HOMER.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan listrik dari penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* pada kapal Ro-RO 1500 GT.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengurangi penggunaan bahan bakar yang membuat kapal menjadi ramah lingkungan.
2. Mengurangi biaya operasional kapal dengan mengurangi penggunaan bahan bakar.
3. Mengembangkan ilmu pengaplikasian tenaga terbarukan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan skripsi ini, terdapat beberapa rumusan masalah agar penelitian yang dilakukan dapat terfokus pada tujuan dan membatasi permasalahan agar tidak

terlalu luas. Berikut Batasan masalah skripsi ini :

1. Objek yang dianalisa adalah perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (tenaga angin – surya dan Generator Diesel) pada kapal Ro-Ro 1500 GT.
2. Dalam pengerjaan simulasi dalam tugas akhir ini digunakan software HOMER.
3. Dampak penambahan beban akibat pemasangan pembangkit listrik tenaga *hybrid* tidak diperhitungkan.
4. Dalam pengerjaan simulasi ini penerangan lampu digunakan terus-menerus selama waktu berlayar.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pembangkit Listrik

2.1.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Generator

Pembangkit listrik tenaga diesel atau yang biasa disebut PLTD adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan putaran dari mesin diesel untuk memutar rotor generator dalam proses pembangkitan tenaga listriknya, bahan bakar yang di gunakan mesin diesel adalah bahan bakar minyak berupa solar.

Kelebihan PLTD adalah :

1. Bisa mulai dengan cepat, mudah dan dibebani dalam waktu singkat
2. Mudah dioperasikan dan hanya memerlukan operator yang sedikit.
3. Bisa Ditempatkan dekat dengan pusat beban.

Kekurangan PLTD adalah :

1. Kurang ramah lingkungan.
2. Suara bising.
3. Membutuhkan waktu pemanasan yang lebih lama.

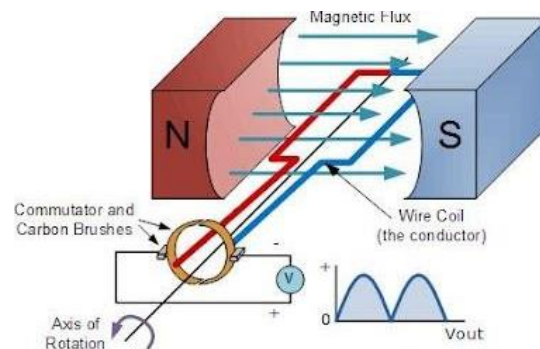
Generator adalah alat bantu kapal yang berguna untuk memenuhi kebutuhan listrik di atas kapal. Dalam memenuhi kebutuhan listrik di atas kapal maka analisa beban dibuat untuk menentukan jumlah daya yang dibutuhkan dan variasi pemakaian untuk kondisi operasional seperti maneuver, berlayar, berlabuh, dan bersandar serta beberapa kondisi lainnya.



Gambar 1 Generator Kapal

Generator merupakan mesin listrik yang menransmisikan daya mekanik menjadi daya listrik dengan landasan Hukum Faraday. Jika pada sekeliling penghantar terjadi perubahan medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan dibangkitkan suatu gaya gerak listrik (GGL) yang sifatnya berlawanan terhadap perubahan medan tersebut (Ma'arif, 2011). Faktor-faktor yang menyebabkan timbulnya GGL, yaitu :

1. Daya mekanik yang berasal dari penggerak utama
2. Arus medan berupa arus *DC* yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet di kumparan medan.



Gambar 2 Prinsip Kerja Generator
(Sumber : autoexpose.org)

2.1.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu yang udara yang lebih tinggi. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain di panaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan dari radiasi matahari. Kondisi bumi yang tidak homogen, sehingga terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, mengakibatkan terjadinya aliran udara pada wilayah tersebut.

Pada pembangkit listrik tenaga bayu, energi angin biasanya dimanfaatkan untuk memutar bagian yang bergerak, dimana energi angin dikonversikan menjadi mekanik dan diubah kembali menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dapat ditransmisikan dan didistribusikan untuk kebutuhan pelanggan-pelanggan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan energi yang terkandung dalam tiupan angin yang dikonversikan menjadi energi kinetik. Energi kinetik (EB) dalam satuan (*joule*) yang dimiliki massa bayu (m) dengan kecepatan v dapat dirumuskan.

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

Sedangkan, daya dari sebuah massa udara yang mengalir pada kecepatan v dan sebuah area lintasan angin A dapat dikalkulasikan sebagai (Fachri, 2017).

$$\text{Daya Angin} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2)$$

Dimana :

$$\rho = \text{massa jenis udara} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$v = \text{kecepatan angin} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

A. Jenis Turbin Angin :

1. Turbin angin tipe vertikal (VATW)

Pada awalnya jenis ini lebih awal dan kadang disebut sebagai *Persian Windmill*, merupakan evolusi dari kapal. Tekanan angin yang mengenai layar menyebabkan roda berputar. Jenis ini sama dengan yang digunakan di china untuk menguapkan air laut sehingga menghasilkan garam, terjadi pada abad XIII. Yang terakhir di Crimea, Eropa, dan USA, yang masih berlangsung hingga kini. Yang paling berhasil disebut *Savonius Windmill*.



Gambar 3 Turbin Angin Tipe Vertikal

Keuntungan turbin angin vertikal

- Bisa ditempatkan di lokasi di mana turbin angin bersumbu horizontal akan sesuai
- Tidak perlu diarahkan arah anginnya
- Mulai dioperasikan pada angin berkecepatan rendah
- Pemeliharaan lebih mudah
- Dikenal tidak bising

Kekurangan turbin angin vertikal

- Kinerja lebih buruk dalam memproduksi energi dibandingkan dengan turbin angin bersumbu horizontal (Kementerian Dalam Negeri, 2016)

2. Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Setelah ide turbin angin sampai di Eropa, sumbuhnya diubah ke horizontal. Hal seperti ini terdapat di Perancis dan Inggris di Abad XII dan disebut *post mill*. Modifikasi turbin ini terjadi di Eropa dan Amerika, dulunya digunakan untuk menggiling gandum, drainase, penggergaji kayu dan lain sebagainya.



Gambar 4 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Keuntungan Turbin Angin Sumbu Horizontal

- Memberikan kinerja yang lebih baik pada produksi energi dibandingkan dengan turbin angin dengan sumbu vertikal
- Turbin angin berkapasitas $3kW$ menghasilkan energi listrik $5,000 - 7,000 kWh$ per tahun (kecepatan angin $5,4m/s$).

Kekurangan Turbin Angin Sumbu Horizontal

- Memerlukan kecepatan angin yang lebih tinggi untuk bisa memproduksi listrik

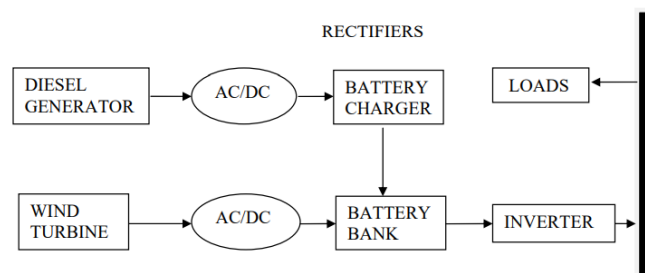
- Memerlukan menara yang tinggi untuk menangkap kecepatan angin yang cukup
- Tambahkan sistem ekor adalah bagian turbin angin, lebih kompleks. (Kementerian Dalam Negeri, 2016)

2.1.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (Tenaga Angin - Diesel Generator)

Pengertian *hybrid* adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hibrida pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu (Saodah, S., & Hariyanto, 2019).

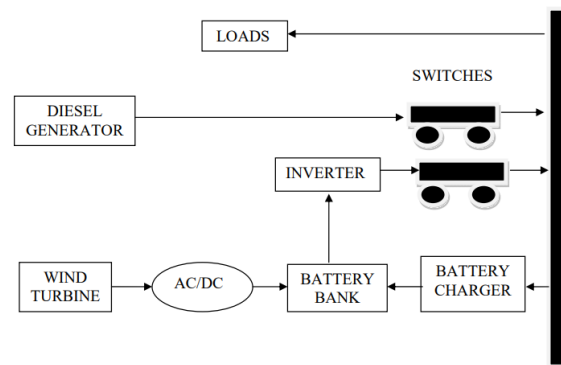
Secara umum, tujuan dari perancangan sistem *hybrid* adalah untuk memenuhi kebutuhan beban dan untuk mencapai pendapatan ekonomi yang optimal. Hal ini dapat pemilihan dan ukuran komponen sistem dan penempatan komponen yang tepat dalam struktur sistem. Struktur ini dapat menjadi rumit jika sistem memiliki tambahan tujuan, seperti mengisi baterai, mengurangi penggunaan bahan bakar diesel dan lainnya. Topologi dalam struktur yang digunakan adalah topologi seri, topologi paralel, dan topologi *switch*. Topologi akan dijelaskan secara singkat di bawah ini.

Pertama topologi seri, semua energi melewati baterai. Sebelum ini, energi tenaga angin dan energi diesel telah di konversi ke arus DC. Sebuah inverter akan mengubah arus DC dari baterai ke arus AC untuk memasok beban. Karena kesederhanaan sistem ini telah meminimalisir kehilangan daya dan memiliki biaya yang rendah untuk inverter dan mesin diesel. Kekurangan utama dari sistem ini adalah berkurangnya efisiensi sistem secara keseluruhan, ditambah dengan kemungkinan hilangnya daya ke beban dengan kegagalan inverter, dan peningkatan biaya baterai. Diagram blok dari rangkain seri sistem *hybrid* akan ditunjukkan pada Gambar 5 (Dimitrios Tsaknias, 2010).



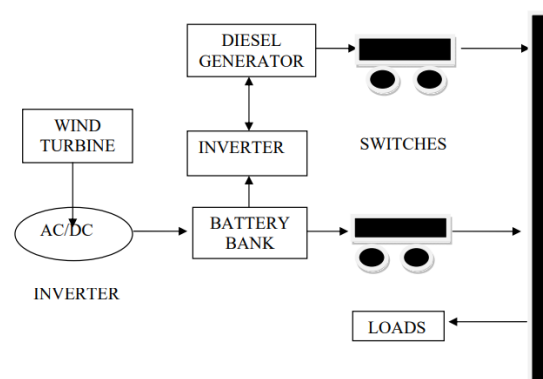
Gambar 5 Sistem Hibrid Seri

Kedua, adalah topologi yang diberi saklar, merupakan instalasi yang paling umum digunakan saat ini. Dalam topologi ini, pasokan generator diesel mengarahkan beban atau inverter dari baterai. Baterai dapat diisi oleh turbin angin atau generator diesel. Karena beban dapat diberdayakan dari sumber mana pun secara langsung, keuntungan utama dari desain ini adalah redundansi. Kekurangannya adalah peningkatan biaya mesin diesel dan generator, kehilangan daya, dan kontrol sistem yang lebih sulit. Diagram blok dari topologi ini dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Sistem Saklar Hibrid

Terakhir, adalah topologi paralel. Dalam topologi ini, beban dapat dipasok oleh salah satu sumber. Selanjutnya, sumber dapat dihubungkan ke beban secara bersamaan waktu. Inverter antara generator dan penyimpanan baterai bergerak 2 arah dan dapat bertindak sebagai pengisi daya baterai atau sebagai inverter. Kelebihan topologi ini adalah kinerja sistem yang optimal, biaya diminimalkan karena inverter yang digunakan lebih kecil, dan daya yang digunakan dapat digunakan dari baterai dan mesin diesel. Kekurangan dari sistem ini adalah biaya yang lebih mahal untuk merancang sistem yang terintegrasi. Diagram blok dari sistem *hybrid* paralel dapat dilihat di Gambar 7.



Gambar 7 Sistem Hibrid Pararel

2.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan sebuah teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari radiasi matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya (photovoltaic). Sel-sel tersebut merupakan lapisan-lapisan tipis yang terbuat dari silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya

Keuntungan PLTS adalah :

1. Meningkatkan keandalan sistem dalam memenuhi beban.
2. Meningkatkan ketersediaan energi.
3. Mengurangi emisi dan polusi suara.
4. Menyediakan suplai listrik yang berkelanjutan.
5. Meningkatkan usia operasional sistem.
6. Mengurangi biaya-biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik (Sopian, 2015).

Kekurangan PLTS adalah :

1. Dalam pembuatan sistem biaya awal yang mahal.
2. Memerlukan tempat yang luas untuk pembuatan sistem dibandingkan dengan sistem lainnya pada besar daya yang sama.

Produksi energi surya dapat dihitung sebagai berikut:

$$E = I \times A \quad (3)$$

Dimana,

$E =$ Energi surya yang dihasilkan (W)

$I =$ Isolasi/Intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama satu jam (W/m)

$A =$ Luas area (m^2)

a. Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya atau *photovoltaic* (PV) cell adalah sebuah peralatan yang mengubah energi matahari menjadi listrik oleh efek fotovoltaiik. *Photovoltaic* merupakan kajian bidang teknologi dan riset yang berhubungan dengan aplikasi sel surya sebagai energi surya. *Photovoltaic* berasal dari Bahasa Yunani yang merupakan kombinasi kata *light,photo, dan voltaic* dari nama Alessandro Volta (Putri DP,2016).

b. Perancangan Teknologi Photovoltaic

Langkah-langkah perancangan teknologi PV adalah sebagai berikut:

1. Mencari total beban pemakaian per hari. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$(Beban\ pemakaian\ (Wh) = Daya\ x\ Lama\ Pemakaian) \quad (4)$$

2. Menentukan ukuran kapasitas modul surya yang sesuai dengan beban pemakaian.

Rumus yang digunakan adalah :

$$(Kapasitas\ Modul\ Surya = \frac{Total\ beban\ pemakaian}{insolasi\ surya\ harian}) \quad (5)$$

3. Menentukan kapasitas baterai/aki. Rumus yang digunakan adalah :

$$(Kapasitas\ Baterai\ (Ah) = \frac{Total\ Kebutuhan\ Energi\ Harian}{Tegangan\ Sistem}) \quad (6)$$

c. Jenis Panel Sel Surya :

1. *Polycrystalline*

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe *polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik saat mendung.



Gambar 8 Panel Surya Polycrystalline
(Sumber:RoyalPV.com)

2. *Monocrystalline*

Merupakan panel surya yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 24%. Kelemahan dari panel ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat dengan cahaya matahari yang kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastic dalam cuaca berawan.

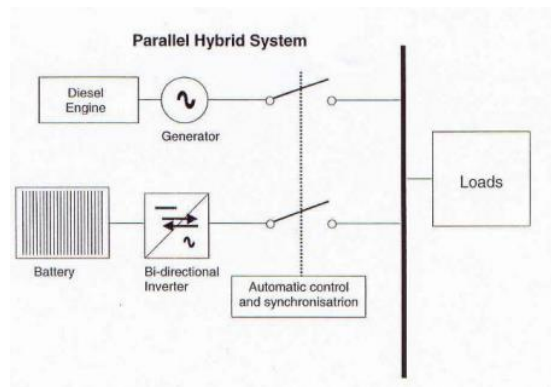


Gambar 9 Panel Surya Monocrystalline
(Sumber : sunpro-smart.com)

2.1.5 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (Panel Surya – Generator)

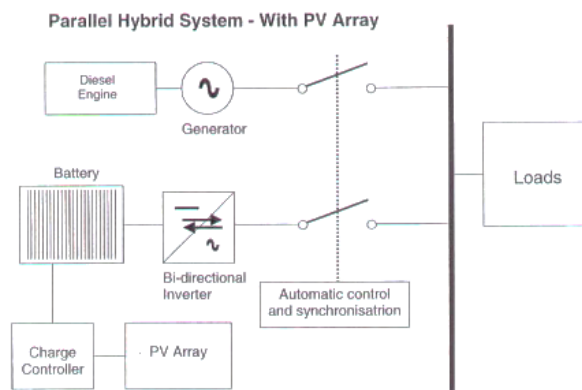
Pengertian *hybrid* adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hibrida pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu (Saodah, S., & Hariyanto, 2019).

Konfigurasi parallel hybrid system memiliki beberapa keuntungan antara lain : (1) beban dapat dipenuhi secara optimal, (2) efisiensi generator diesel tinggi sehingga mengurangi biaya perawatan, dan (3) ukuran generator diesel dan komponen lain dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya inventasi (Kunaifi, 2015).



Gambar 10 Sistem Pararel Hibrid

Jika suatu sistem PLH dengan konfigurasi parallel hybrid system dilengkapi dengan pembangkit listrik energi terbarukan, kehandalan dan efisiensi sistem akan meningkat, dan ukuran generator-generaotr makin kecil. Hal ini dimungkinkan karena generator diesel berubah fungsi menjadi back-up, sedangkan suplai utama berasal dari pembangkit listrik energi terbarukan dan baterai.



Gambar 11 Sistem Pararel Hibrid dengan PV Array

2.2 Komponen - Komponen Pendukung Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator dan Tenaga Angin – Panel Surya

A. Baterai

Battery adalah sebagai penyimpan energi listrik atau *Energy Storage System (ESS)* yang diisi oleh aliran DC dari modul *photovoltaic*. Ukuran kapasitas baterai dinyatakan dengan satuan *Ampere-hours (Ah)*. Pada penelitian ini, jenis rechargeable battery yang digunakan dalam optimalisasi adalah *lead acid battery*. Baterai ini digunakan untuk menyimpan kelebihan listrik yang di hasilakan pada panel surya dan digunakan nanti. *Battery* dalam penggunaannyasebagai sumber

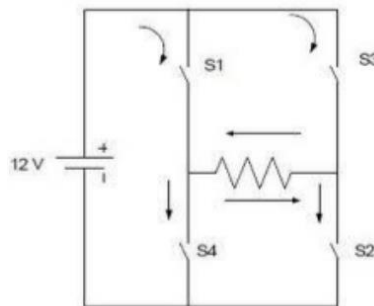
pembangkit tenaga listrik biasanya hanya sekitar 40%. Hal ini dikarenakan battery merupakan sumber pembangkit listrik yang tidak bisa dipakai selama 24 jam karena harus mengalami *fase charging* dan *discharging*. Sehingga *battery* bisa dipakai saat beban puncak (Mustofa, 2018).



Gambar 12 Baterai
(Sumber : pveducation.org)

B. Inverter

Inverter adalah rangkaian yang mengubah DC menjadi AC. Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC. Sumber tegangan inverter dapat berupa *battery*, solar panel, aki kering dan sumber tegangan DC lainnya. Sedangkan keluaran dari inverter adalah tegangan AC 220 V atau 120 V, dan frekuensi output 50Hz dan 60Hz.



Gambar 13 Prinsip Dasar Inverter
(Sumber : Kunaifi,2015)

Pada dasarnya inverter adalah alat yang membuat tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang tegangan. Gelombang yang terbentuk dari inverter tidak berbentuk gelombang sinusoida, melainkan gelombang persegi. Pembentukan tegangan AC tersebut dilakukan dengan

menggunakan dua buah pasang saklar (Kunaifi, 2015).

C. *Solar Charger*

Prinsip kerja Solar Charge Controller adalah alat yang berfungsi sebagai kontrol tegangan dan arus yang berasal dari output sel surya untuk menuju ke baterai dan ke beban. Pada saat panel surya menerima energi matahari, output dari panel surya tidak konstan, sesuai dengan intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya. Sehingga tegangan keluaran dan arus keluaran dari sel surya juga tidak konstan dan bervariasi terus sepanjang waktu di siang hari, sedangkan tegangan dan arus yang menuju batere mempunyai batasan tertentu.

Solar charge controller memiliki terminal diantaranya: terminal untuk panel surya, terminal untuk baterai, terminal untuk beban. Ketiga terminal tersebut dilengkapi dengan polaritas yaitu tanda negatif (-) dan tanda positif (+) yang jelas agar tidak terjadi kesalahan.

Solar Charger Controller berfungsi mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai, apabila baterai sudah penuh maka listrik dari panel surya tidak akan dialirkan ke baterai dan sebaliknya. Dan dari baterai ke beban, apabila listrik dalam baterai tinggal 20- 30%, maka listrik ke beban otomatis dimatikan (Hasi,S.,2015)



Gambar 14 *Solar Charger Controller*

2.3 Rancangan Sistem *Hybrid* Menggunakan *Software Homer*

HOMER adalah singkatan dari *Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables*, salah satu software populer untuk desain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. *Software HOMER* merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *The National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, Amerika Serikat. *Software HOMER* merupakan suatu program simulasi untuk mengoptimalkan sistem pembangkit listrik

baik *stand alone (off grid)* maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari kombinasi pembangkit listrik konvensional dan kombinasi pembangkit sumber energi terbarukan, *battery bank*, *bidirectional converter* serta untuk melayani beban listrik maupun *thermal*. Selain itu *software HOMER* juga berfungsi untuk mempermudah dalam merancang, menganalisa, serta mengevaluasi disain sistem pembangkit listrik. *Software* ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan (*HomerEnergy, 2015*)