

**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
SEBAGAI ENERGI CADANGAN UNTUK SISTEM
PENERANGAN PADA KAPAL LAUT**

TESIS

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik
Dalam Bidang Teknik Elektro*

Oleh :

RESTU MUJIONO
NPM : 2220080004



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

PENGESAHAN TESIS

Nama : Restu Mujiono
Nomor Pokok Mahasiswa : 2220080004
Prodi/Konsentrasi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
Sebagai Energi Cadangan Untuk Sistem
Penerangan Pada Kapal Laut

Pengesahan Tesis

Medan, _____

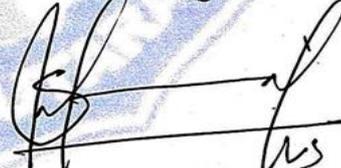
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T

Pembimbing II



Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc

Diketahui,

Direktur



Prof. Dr. Triono Eddy, S.H., M.Hum

Ketua Program Studi



Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T

PENGESAHAN

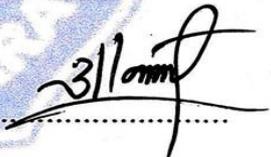
**ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
SEBAGAI ENERGI CADANGAN UNTUK SISTEM PENERANGAN PADA
KAPAL LAUT**

“Tesis ini telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji Yang Dibentuk Oleh
Magister Teknik Elektro PPs. UMSU dan dinyatakan Lulus Dalam Ujian,

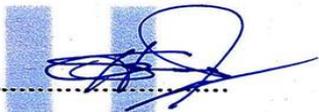
Pada Hari, Tanggal : Sabtu , 27 Juli 2024

Panitia Penguji

1. Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra
Zambak, ST., M.Sc
Penguji 1

1. 

2. Prof. Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc
Penguji 2

2. 

3. Dr. Josef Hadipramana, M.Sc
Penguji 3

3. 

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PERNYATAAN KEASLIAN

ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SEBAGAI ENERGI CADANGAN UNTUK SISTEM PENERANGAN PADA KAPAL LAUT

Dengan ini penulis menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, 20 Agustus 2024



Penulis,

Restu Mujiono

NPM : 2220080004

ANALISA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU SEBAGAI ENERGI CADANGAN UNTUK SISTEM PENERANGAN PADA KAPAL LAUT

RESTU MUJIONO NPM : 2220080004

ABSTRAK

Pelayaran saat ini adalah salah satu moda transportasi yang paling kritis untuk perdagangan dunia, menyumbang sekitar 90% dari perdagangan global. Namun, industri perkapalan juga menjadi salah satu penyumbang utama emisi GRK global, saat ini menyumbang sekitar 3% dari total global. Diperkirakan penggunaan bahan bakar fosil oleh industri pelayaran internasional berkontribusi sekitar 3% emisi gas rumah kaca (GRK) tahunan secara global pada tahun 2022. Penggerak Kapal Berbantuan Angin (WASP) adalah solusi yang menjanjikan karena merupakan salah satu dari sedikit teknologi kapal yang menawarkan penghematan bahan bakar dan emisi dua digit, dan diyakini menjadi sumber energi terbarukan yang penting untuk masa depan industri pelayaran. Untuk aplikasi kapal, data prakiraan cuaca memainkan peran utama dalam menentukan pemasangan sistem di kapal saat kapal melakukan perjalanan dari pelabuhan ke pelabuhan untuk transportasi. Data kapal menunjukkan penggunaan daya penerangan pada kapal adalah sebesar 4,89 kWh/jam atau 117 kWh/hari yaitu selama kapal berjalan dari rute belawan menuju batam. Data yang dihasilkan bisa terlihat dari 5 titik lokasi penelitian kecepatan angin yang diperoleh dari masing - masing tempat ada yang kecil dan ada yang besar. Rata-rata dari beberapa sampel yang diambil yaitu hanya sebesar 3,13 m/s. Kecepatan angin rata-rata yang ada, maka daya spesifik yang dapat dihasilkan adalah 18,39 Watt/m². Masa udara rata-rata 324,53 kg/s dan energi kinetik yang dihasilkan sebesar 1589,7 Joule. Daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin yang diasumsikan berkapasitas 10 kW sebesar 1627,26Watt, untuk mensuplai beban penerangan total pada kapal dari hasil perhitungan, maka dibutuhkan 4 unit turbin dengan kapasitas 10kW. Simulasi yang diperoleh dari aplikasi HOMER total biaya awal yang dibutuhkan adalah Rp. 190.144.300 dengan biaya operasi per kWh nya adalah sebesar Rp. 1.951,58.

Kata Kunci : Energi Terbarukan, Energi Angin, PLTB, Homer

ANALYSIS OF WINDOW POWER PLANT AS BACKUP ENERGY FOR LIGHTING SYSTEMS ON SHIP

RESTU MUJIONO NPM : 2220080004

ABSTRACT

Shipping is currently one of the most critical modes of transportation for world trade, accounting for approximately 90% of global trade. However, the shipping industry is also one of the main contributors to global GHG emissions, currently contributing around 3% of the global total. It is estimated that the use of fossil fuels by the international shipping industry will contribute around 3% of annual greenhouse gas (GHG) emissions globally by 2022. Wind-Assisted Ship Propulsion (WASP) is a promising solution as it is one of the few ship technologies that offers material savings double-digit fuel and emissions, and is believed to be an important renewable energy source for the future of the shipping industry. For ship applications, weather forecast data plays a major role in determining the installation of systems on ships as the ship travels from port to port for transportation. Ship data shows that the use of lighting power on the ship is 4,89 kWh/hour or 117 kWh/day, namely while the ship is traveling from the Belawan route to Batam. The resulting data can be seen from 5 wind speed research locations obtained from each location, some small and some large. The average of several samples taken was only 3,13 m/s. The existing average wind speed, the specific power that can be produced is 18,39 Watt/m². The average air mass is 324,53 kg/s and the kinetic energy produced is 1589,7 Joules. The power that can be generated by a turbine which is assumed to have a capacity of 10 kW is 1627,26Watt. To supply the total lighting load on the ship from the calculation results, 4 turbine units with a capacity of 10kW are needed. In the simulation obtained from the HOMER application, the total initial cost required is Rp. 190.144.300 with operating costs per kWh of Rp. 1.951,58.

Keywords: Renewable Energy, Wind Energy, PLTB, Homer.



KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Magister Teknik Elektro Pada Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Allah SWT , karena atas berkah dan izin- Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Magister Teknik Elektro , Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU) Medan.
2. Seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Sarjana ini.
3. Prof. Dr. Agussani, MAP, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas kesempatan serta fasilitas yang di berikan untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan program pascasarjana ini.
4. Prof. Dr. Muhammad Arifin, S.H., M.Hum., selaku Wakil I Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, SH.,M.Hum selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T, selaku Ketua Prodi Program Magister Teknik Elektro yang sekaligus sebagai Pembimbing I dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc selaku dosen Program Magister Teknik Elektro dan selaku Pembimbing II yang tidak bosan - bosannya dalam membimbing dan memberikan masukan, bantuan serta memberikan motivasi agar terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik.

8. Segenap Bapak & Ibu dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak. ST., MSc sebagai Pembanding I dalam laporan tugas akhir ini yang sangat banyak memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas ini dapat terselesaikan dengan baik.
10. Prof. Dr. Ir. Surya Hardi. MSc sebagai Pembanding II dalam laporan tugas akhir ini yang juga sangat banyak memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas ini dapat terselesaikan dengan baik.
11. Seluruh staff Tata Usaha, ,Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro UMSU
12. Kepada seluruh rekan – rekan Mahasiswa Seperjuangan di Prodi MTE Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Penulisan laporan ini memang tentunya memang masih jauh daripada kesempuraan, untuk itu penulis sangat berharap adanya kritik dan masukan yang konstruktif agar menjadi bahan pembelajaran yang berkesinambungan untuk penulis dimasa yang akan datang. Semoga penulisan laporan ini dapat diambil manfaatnya serta berguna bagi dunia energi baru terbarukan.

Medan, 20 Agustus 2024

RESTU MUJIONO
2220080004

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	2
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian.....	5
1.6. Manfaat Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Studi Literatur.....	7
2.2. Energi Angin.....	10
2.3. Energi Kinetik.....	15
2.4. Turbin Angin	17
2.5. Generator	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2 Tahapan Percobaan.....	30
3.3 Alir Penelitian.....	31
3.4 Teknik Pengumpulan Data	32
3.5 Teknik Analisis Data	32
3.6 Flowchart Penelitian	33

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Data Kapal	34
4.2 Data Beban Kapal.....	46
4.3 Analisis Potensi Energi Angin	48
4.4 Pemilihan Teknologi Turbin	49
4.5 Analisis Kebutuhan Turbin	49
4.5.1 Simulasi Turbin Menggunakan Homer	53
BAB 5 PENUTUP.....	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kapal dengan Flettner Rotor , Sumber : IWSA	8
Gambar 2.2	Flettner Rotor, Sumber : IWSA	8
Gambar 2.3	Efek magnus	10
Gambar 2.4	Struktur tipikal sistem pembangkit tenaga angin	10
Gambar 2.5	Tiga tipe utama turbin angin	11
Gambar 2.6	Cara kerja turbin angin. Sumber : IWSA.....	18
Gambar 2.7	Penampakan arah angin pada turbin.....	18
Gambar 2.8	General layout kapal yang digerakkan angin ,sumber : IWSA.....	19
Gambar 2.9	Kapal Hornblower Hybrid , sumber : IWSA	22
Gambar 3.1	Diagram alir analisa data penelitian	31
Gambar 4.1	Rute Kapal	35
Gambar 4.2	Pengambilan data kecepatan angin titik 1	36
Gambar 4.3	Grafik kecepatan angin titik 1.....	37
Gambar 4.4	Pengambilan data kecepatan angin titik 2	38
Gambar 4.5	Grafik kecepatan angin titik 2.....	39
Gambar 4.6	Pengambilan data kecepatan angin titik 3	40
Gambar 4.7	Grafik kecepatan angin titik 3.....	41
Gambar 4.8	Pengambilan data kecepatan angin titik 4	42
Gambar 4.9	Grafik kecepatan angin titik 4.....	43
Gambar 4.10	Pengambilan data kecepatan angin titik 5	44
Gambar 4.11	Grafik kecepatan angin titik 5.....	45
Gambar 4.12	Second Deck	46
Gambar 4.13	Main Deck	46
Gambar 4.14	Upper Deck.....	47

Gambar 4.15	Input beban pada HOMER	53
Gambar 4.16	Input kecepatan angin pada rute kapal 3.13 m/s.....	54
Gambar 4.17	Skema PLTB.....	54
Gambar 4.18	Hasil simulasi HOMER	54
Gambar 4.19	Electrical.....	56
Gambar 4.20	Wind Penetration.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1.0	Syarat-syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan Energi listrik.....	13
Tabel 2.0	Tipe turbin angin dan kegunaannya.....	19
Tabel 3.0	Hasil pemeliharaan dan maintenance pada generator.....	28
Tabel 4.1	Data kecepatan angin titik 1	36
Tabel 4.2	Data kecepatan angin titik 2	38
Tabel 4.3	Data kecepatan angin titik 3	40
Tabel 4.4	Data kecepatan angin titik 4	42
Tabel 4.5	Data kecepatan angin titik 5	44
Tabel 4.6	Beban listrik pada second deck.....	47
Tabel 4.7	Beban listrik pada main deck	47
Tabel 4.8	Beban listrik pada upper deck	48
Tabel 4.9	Spesifikasi turbin angin.....	50
Tabel 4.10	Potensi angin	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Second deck kapal	63
Lampiran 2. Main deck kapal.....	64
Lampiran 3. Upper deck kapal	65
Lampiran 4. Input beban pada HOMER	66
Lampiran 5. Input kecepatan angin pada rute kapal 3,13 m/s HOMER	67
Lampiran 6. Hasil simulasi Homer	68
Lampiran 7. Electrical HOMER.....	69
Lampiran 8. Wind penetration Homer	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelayaran saat ini adalah salah satu moda transportasi yang paling kritis untuk perdagangan dunia, menyumbang sekitar 90% dari perdagangan global. Namun, industri perkapalan juga menjadi salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca (GRK) global, saat ini menyumbang sekitar 3% dari total global. Menurut evaluasi yang dilakukan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, jika output emisi GRK global dapat dikurangi hingga 40%–70% sebelum tahun 2050. Selain itu, kapal hampir pasti mengeluarkan *sulfur oksida (SOx)*, *nitrogen oksida (NOx)* dan *partikulat (PM)* [1], yang juga merupakan kontributor polusi udara. Jadi, Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah memperkenalkan peraturan ketat seperti *Energy Efficiency Design Index (EEDI)* dan *Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)* untuk mencoba dan menurunkan tingkat emisi GRK dari kapal konvensional [3]. Selain itu, beberapa Area Kontrol Emisi (AKE) di Amerika Utara dan Eropa Utara telah ditetapkan untuk membatasi emisi SOx dan NOx dari kapal

Diperkirakan penggunaan bahan bakar fosil oleh industri pelayaran internasional berkontribusi terhadap sekitar 3% emisi gas rumah kaca (GRK) tahunan secara global pada tahun 2022 [1], dan emisi tersebut dapat meningkat antara 50% dan 250% pada tahun 2050. Menyikapi hal ini, Organisasi Maritim Internasional (IMO), telah menetapkan strategi awal IMO dalam mengurangi emisi GRK dari kapal [2]. Visi dari strategi ini adalah untuk mencapai nol emisi GRK dari pelayaran pada akhir abad ke-21, sekaligus mengurangi total emisi GRK tahunan

setidaknya sebesar 50% pada tahun 2050 dibandingkan tahun 2008. Sebagai bagian dari strategi ini, emisi CO₂ per pekerjaan transportasi harus dikurangi setidaknya 40% pada tahun 2030, dan setidaknya 70% pada tahun 2050.

IMO telah merevisi *Marine Pollution* (MARPOL) untuk memperkenalkan Annex VI bab 4 dengan peraturan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi [3]. Indeks Desain Efisiensi Energi (EEDI) IMO mendefinisikan emisi karbon dioksida (CO₂) saat ini dan masa depan pekerjaan transportasi yang diperbolehkan pada kondisi desain tunggal untuk berbagai jenis kapal. Saat ini industri pelayaran sedang mengadopsi berbagai teknologi untuk meningkatkan efisiensi energi [4]. Termasuk juga tetap menggunakan almanak nautika yang merupakan sebuah buku yang berisikan daftar pasang surut serta arah dan kecepatan angin selama melaksanakan pelayaran di tengah laut. Selain itu juga di antara teknologi yang paling menjanjikan adalah teknologi yang memanfaatkan energi terbarukan secara langsung, seperti; sistem tenaga angin, dimana angin diperkirakan menawarkan jumlah energi terbarukan terbesar di kapal sebesar 10–60% [5].

Tenaga angin menjadi semakin populer karena merupakan sumber energi yang tersedia dan berkontribusi hampir nol emisi. Namun, ketersediaan tenaga angin bergantung pada posisi kapal dan kondisi cuaca lokal tempat kapal berlayar, sehingga bervariasi dalam waktu [6]. Oleh karena itu, berbagai sistem pengumpulan energi harus terintegrasi satu sama lain. Integrasi sistem tersebut membantu meningkatkan efisiensi dan keandalan dengan cara yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan di semua kondisi pembebanan dibandingkan dengan kondisi pembebanan tunggal. Tampaknya ketika mengevaluasi berbagai pilihan teknologi [4], tidak ada satu ukuran pun yang cukup untuk mencapai

efisiensi dan pengurangan emisi GRK yang berarti. Seiring dengan tekanan untuk mengurangi emisi dan biaya siklus hidup, keselamatan juga perlu dipastikan dari sistem ini. Hal ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kompleksitas yang melekat termasuk interaksinya antara berbagai subsistem dan komponen serta heterogenitas dan berbagai pengendalian tingkat sistem yang lengkap.

Wind-Assisted Ship Propulsion (WASP) adalah solusi yang menjanjikan karena merupakan salah satu dari sedikit teknologi kapal yang menawarkan penghematan bahan bakar dan emisi dua digit, dan diyakini menjadi sumber energi terbarukan yang penting untuk masa depan industri pelayaran Nelissen dkk [8]), ini adalah salah satu teknologi paling menjanjikan dalam hal jumlah bahan bakar minyak yang dapat dihemat. Misalnya, pada tahun 1980, sebuah kapal layar bersayap kaku dibangun dan menghasilkan penghematan tahunan rata-rata antara 15% dan 30% dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar sebelumnya. Studi lain yang dilakukan pada tahun 2000, sebuah pengangkut produk dengan layar angin kaku dirancang untuk Kementerian Lingkungan Hidup dan Energi Denmark, diperkirakan dapat menghemat bahan bakar hingga 15% setiap tahunnya, dan studi lain menggunakan uji skala penuh. menunjukkan bahwa layang-layang yang dikombinasikan dengan mesin konvensional dapat menghasilkan penghematan tahunan hingga 35% [9]. Meskipun memiliki potensi ini, teknologi tenaga angin belum sepenuhnya mencapai kematangan pasar. Saat ini sebagian besar kapal yang beroperasi menggunakan teknologi angin adalah kapal kecil dalam pelayaran kecil dengan hanya dua kapal niaga besar yang digunakan [10]. Untuk meningkatkan hal ini, banyak konsep teknologi penggerak angin inovatif telah diusulkan dan saat ini sedang dikembangkan untuk pelayaran

komersial. Kapal yang ideal dan kemungkinan besar akan memperoleh manfaat dari teknologi ini adalah kapal curah berkecepatan rendah dan kapal tanker minyak. Hal ini karena kapal-kapal ini, dapat mengakomodasi bangunan atas tambahan di dek dan pengoperasian kecepatannya meningkatkan spektrum arah angin sehingga layar dan layar sayap dapat menghasilkan daya dorong yang berguna.

Untuk aplikasi kapal, data prakiraan cuaca memainkan peran utama dalam menentukan pemasangan sistem di kapal saat kapal melakukan perjalanan dari pelabuhan ke pelabuhan untuk transportasi. Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penting dilakukan penelitian tentang “Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sebagai Energi Cadangan Untuk Sistem Penerangan Pada Kapal Laut”.

1.2. Identifikasi Masalah

Sehubungan dengan latar belakang masalah di atas, dalam penelitian ini kami mengidentifikasi beberapa masalah yang ada seperti di bawah ini :

1. Harga bahan bakar yang semakin mahal sehingga akan menambah biaya dalam pengoperasian.
2. Dalam membuat analisa perlu menggunakan evaluasi dan perhitungan yang matang sehingga peralatan yang dipergunakan dapat beroperasi secara maksimal.

1.3. Pembatasan Masalah

Didalam penelitian ini pembatasan masalah yang dibahas adalah seperti di bawah ini :

1. Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan data almanak nautika yang berupa data kondisi pasang surut air laut serta arah dan kecepatan angin yang dapat dipergunakan selama kapal berlayar dan ketika kapal memasuki suatu perairan yang dangkal sehingga diperoleh data yang akurat tentang kondisi cuaca di tengah laut serta data tentang kecepatan angin.
2. Data yang digunakan dalam penelitian disesuaikan dengan kondisi cuaca dan kecepatan angin saat kapal ditengah laut.

1.4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana metode yang digunakan dalam pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini?
2. Bagaimana PLTB ini jika dipergunakan di kapal dan pengaruhnya pada kecepatan kapal ?
3. Bagaimana dan akibat apa yang terjadi jika kondisi cuaca dalam keadaan tidak baik ?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa daya yang dihasilkan serta kecepatan angin yang dapat mengganggu saat pengoperasian dan akibat-akibat yang akan ditimbulkannya selama dioperasikan.
2. Menganalisa kinerja peralatan yang digunakan agar hasil yang diperoleh bisa lebih maksimal.

3. Menganalisa perbandingan konsumsi bahan bakar di saat PLTB ini dioperasikan, dan pada PLTB ini sedang tidak dioperasikan.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Dapat menekan biaya yang digunakan untuk pembelian bahan bakar dan dapat lebih menghemat dalam pengoperasian mesin diesel di kapal.
2. Dalam pengoperasiannya dapat mengurangi polusi udara yang ditimbulkan oleh mesin diesel di kapal.
3. Menjadi referensi penelitian dan dapat dikembangkan lagi agar emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dapat dikurangi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Studi Literatur

Rotor Flettner adalah alat penggerak dan stabilisasi kapal yang tidak konvensional. Pertama kali dikembangkan oleh insinyur Jerman Anton Flettner pada awal tahun 1900-an, metode ini menggunakan fenomena dinamika fluida yang dikenal sebagai *efek Magnus*. untuk menggerakkan kapal. Dorongan yang dikembangkan oleh sistem dan arahnya bergantung pada beberapa faktor dan fitur, yang secara luas dikategorikan menjadi [11] :

1. Kecepatan angin (kinetik).
2. Arah angin (terarah).
3. Arah kapal (terarah).
4. Tinggi dan diameter rotor (geometris). dan
5. Sifat permukaan rotor (dinamis dan kinetik).

Prinsip penggeraknya adalah ketika sebuah silinder diputar terhadap suatu sumbu, dan suatu medium (udara atau air) mengalir melewatinya tegak lurus terhadap sumbunya, maka suatu gaya dihasilkan dalam arah yang ortogonal terhadap sumbu dan aliran aliran. Gaya ini merupakan hasil dari perbedaan tekanan pada kedua bagian rotor dan dikenal sebagai *gaya "Kutta-Joukowski"* [36].

Konsep gaya ini pertama kali diukur oleh ilmuwan Martin Kutta dan Nikolai Joukowski yang mempelajari kasus silinder yang berputar. Rotor Flettner digunakan di pesawat dan kapal, meskipun masih merupakan konsep eksperimental yang belum diproduksi secara massal secara komersial. Rotor Flettner juga dikenal sebagai rotor Magnus.

Nama lain untuk silinder besar yang dipasang di dek adalah layar rotor atau layar Flettner. Ketika digunakan dalam industri pesawat terbang, pesawat tersebut dikenal sebagai pesawat Flettner [12].

Gambar 3 dan gambar 4 menunjukkan bahwa Flettner rotor memerlukan ruang di dek dan sangat mungkin untuk meningkatkan tinggi dari keseluruhan kapal. Selain itu juga, flettner rotor akan mempersulit sistem instalasi kapal, tergantung pada tujuan pengoperasian kapal tersebut. Jadi dalam penerapannya sangat membutuhkan pertimbangan yang lebih lanjut ketika akan menggunakan flettner rotor [13].



Gambar 3. Kapal dengan Flettner Rotor , Sumber : IWSA

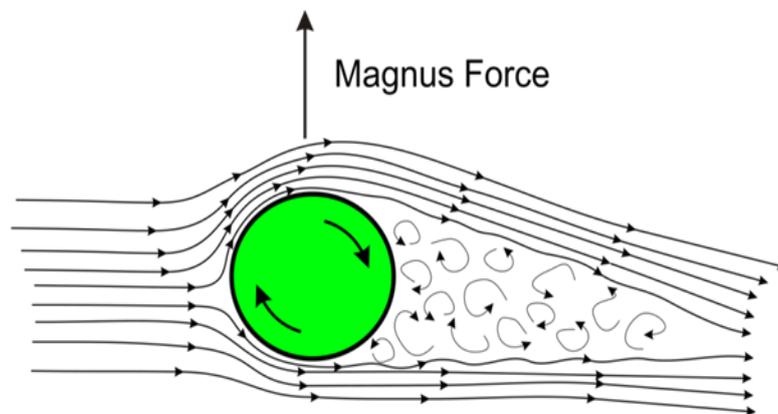
Prinsip kerja dari flettner rotor yaitu rotor-rotor digerakkan oleh motor listrik yang akan membuat rotor tersebut berputar sesuai dengan sumbunya. Kemudian angin yang berhembus melewati rotor akan menimbulkan suatu perbedaan tekanan antara kedua sisinya yang akan menyebabkan kapal mendapatkan gaya dorong tambahan, dimana gaya dorong tersebut akan timbul suatu gerakan tegak lurus yang searah dengan arah datangnya angin.



Gambar 4. Flettner Rotor, Sumber : IWSA

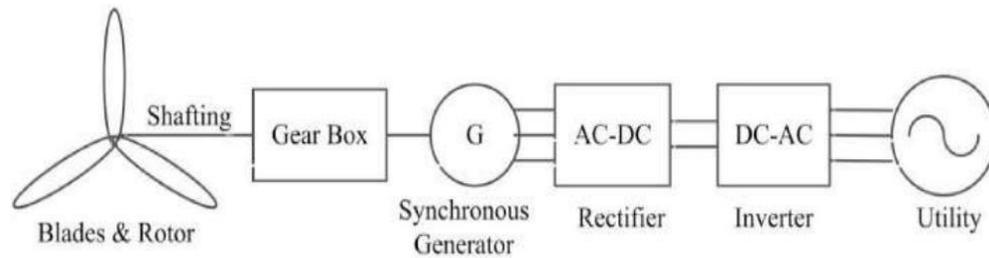
Dimana hal tersebut akan sejalan dengan prinsip dari "*Magnus effect*", yang diambil dari nama seorang fisikawan Jerman Gustav Magnus. Efek magnus adalah suatu gaya yang bekerja pada benda yang berputar dalam aliran udara bergerak, yang berada tegak lurus dari aliran udara.

Gambar 5 memperlihatkan efek magnus dihasilkan ketika silinder yang berputar menghasilkan perbedaan tekanan fluida. Efek magnus dikemukakan oleh fisikawan Jerman bernama Heinrich Gustav Magnus pada tahun 1852 [35].



Gambar 5. Efek magnus

Gambar 6 adalah kerangka tipikal dari sistem pembangkit tenaga angin. Untuk sistem pembangkit tenaga angin, turbin angin merupakan bagian yang sangatlah penting.

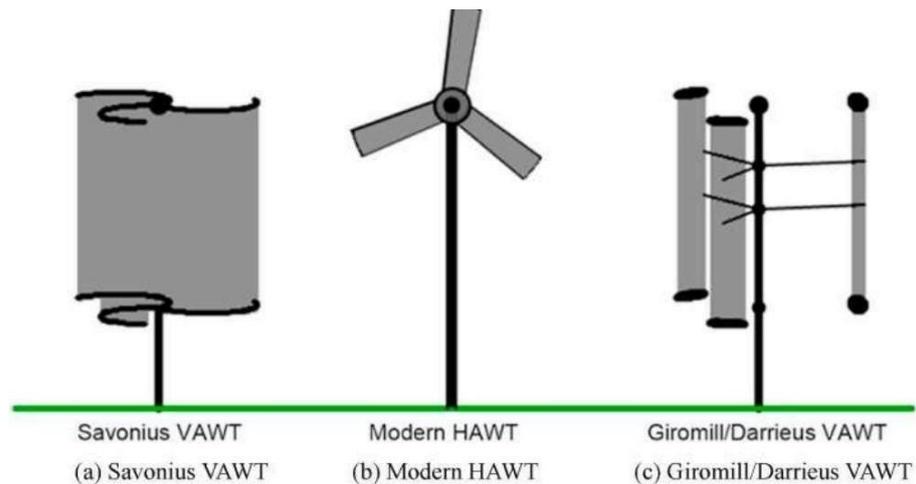


Gambar 6. Struktur tipikal sistem pembangkit tenaga angin.

3.2. Energi Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah cara yang paling banyak digunakan untuk menggunakan energi angin. Sistem pembangkit tenaga angin memiliki waktu set-up yang lebih singkat dan dapat bekerja terus menerus jika kecepatan angin cukup [31– 33].

Turbin angin modern pada gambar 7 dapat dibagi menjadi turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (VAWT). HAWT lebih dominan dalam industri pembangkit tenaga angin karena efisiensi dan keluaran dayanya yang lebih tinggi. VAWT biasanya dipasang dekat dengan tanah dengan paparan angin yang lebih sedikit, menghasilkan output daya yang lebih rendah. Biaya sistem VAWT pasti akan meningkat[14], jika peningkatan tingkat keluaran daya dipertimbangkan, karena diperlukan bahan tambahan dan bilah berukuran besar [35]. Meski begitu, sistem VAWT masih memiliki beberapa keunggulan penting, seperti tingkat kebisingan yang lebih rendah, menghasilkan listrik dalam kondisi angin berkecepatan rendah dan tidak memiliki persyaratan wajib dalam arah angin.



Gambar 7. Tiga tipe utama turbin angin.

Keunggulan ini membuat VAWT lebih cocok untuk diterapkan di kapal [36], tetapi perhatian khusus harus diberikan pada potensi efek buruknya pada kualitas daya, keandalan jaringan dan stabilitas kapal [37,38].

Fungsi dasar dari sistem tenaga kapal adalah untuk menyediakan tenaga yang andal dan berkelanjutan dengan cara yang sama seperti sistem tenaga terestrial, tetapi ada beberapa perbedaan penting:

Pertama, membandingkan keamanan sistem tenaga kapal dengan sistem tenaga terestrial, keandalannya harus total, sementara ini tidak wajib untuk sistem tenaga terestrial [39].

Kedua, sistem tenaga kapal merupakan jenis sistem kompak terkopel kuat, nonlinier dan terpisah dengan kapasitas terbatas [39]. Dengan demikian ada sejumlah bidang spesialis yang perlu diambil, termasuk desain jaringan mengenai transmisi dan distribusi, pendekatan analisis numerik, teori stabilitas sistem, keamanan dan rekonstruksi jaringan [40].

Akhirnya, masalah inti yang dihadapi sistem tenaga kapal adalah bagaimana memfasilitasi kontrol daya terintegrasi ketika ada beban daya tinggi dengan level tegangan berbeda yang perlu dikelola di ruang terbatas [41]. Sistem penyimpanan energi (ESS) digunakan untuk meningkatkan kualitas daya dan stabilitas. Selain menyimpan dan mensuplai daya listrik, ESS juga berfungsi untuk memperlancar daya keluaran sistem pembangkit energi baru dan meningkatkan kualitas daya [42]. Untuk meningkatkan kinerja, ESS tidak hanya perlu merespons fluktuasi daya dengan cepat, tetapi juga menyediakan kapasitas penyimpanan energi yang cukup untuk memenuhi permintaan regulasi beban. Oleh karena itu, ESS harus memiliki kerapatan daya yang cukup untuk merespons fluktuasi daya dan kerapatan energi yang lebih tinggi untuk memasok daya yang tidak terputus dan stabil ke jaringan mikro. Namun, tidak ada perangkat penyimpanan tunggal yang banyak digunakan saat ini yang dapat memenuhi kedua persyaratan ini secara bersamaan. Dimungkinkan untuk menggabungkan dua atau lebih perangkat penyimpanan heterogen bersama-sama membuat sistem penyimpanan energi hybrid (HESS) untuk mengatasi kekurangan yang berkaitan dengan perangkat penyimpanan energi tunggal [43].

Energi angin juga dapat dikonversikan ke dalam suatu bentuk energi yang lain yaitu seperti energi listrik atau energi mekanik dengan menggunakan turbin. Oleh karena itu turbin angin sering disebut sebagai sistem konversi angin. Energi angin merupakan suatu energi hasil alam yang jumlahnya sangat melimpah dan tersedia terus menerus. Indonesia salah satu negara kepulauan yang memiliki hampir 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih yang dari 81.290 Km. Indonesia juga memiliki potensi energi angin yang sangat besar yaitu sekitar 9,3 GW, dan hingga saat ini total apasitas yang baru terpasang sekitar 0,5 MW [4].

Tabel 1 menjelaskan syarat dan kondisi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Tabel 1. Syarat-syarat dan kondisi angin

No	Kecepatan Angin (m/s)	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 – 0.02	–
2	0.30 – 1.50	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1.60 – 3.30	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.40 – 5.40	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.50 – 7.90	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon
6	08.00 – 10.70	Ranting pohon besar bergoyang, bendera berkibar
7	10.80 – 13.80	Ranting pohon besar dapat bergoyang
8	13.90 – 17.10	Ujung pohon dapat melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.20 – 20.70	Dapat mematahkan ranting-ranting pohon, jalan akan terasa berat jika melawan arah angin
10	20.80 – 24.40	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.50 – 28.40	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.50 – 32.60	Menimbulkan kerusakan yang sangat parah

Umur pembangkit listrik tenaga angin dianggap 25 tahun ,dan dalam banyak kasus, dibongkar setelah 25 tahun. Banyak komponen termasuk elemen struktural, dapat terus beroperasi selama 25 tahun ke depan, sedangkan pembangkit listrik tenaga angin sendiri dapat beroperasi lebih lama setelah penggantian beberapa komponen dan elemen dengan yang baru, yang selanjutnya akan mengurangi dampak lingkungan yang berbahaya dari produksi energi. di pembangkit listrik tenaga angin [45].

Pada dasarnya ada tiga strategi berbeda untuk menangani turbin angin di akhir siklus hidup mereka: penonaktifan, perpanjangan seumur hidup, dan repowering. Tujuan penonaktifan adalah membongkar pembangkit listrik tenaga angin setelah mencapai akhir siklus hidupnya dan kemudian mendaur ulangnya [41,42,47,48]. Perpanjangan seumur hidup, pada gilirannya, mencakup langkah-langkah untuk memperpanjang siklus hidup pembangkit listrik tenaga angin dengan mengganti elemen yang sudah usang dengan yang baru. Oleh karena itu, ini termasuk modernisasi bagian mekanis dan sistem kontrol [40]. Gagasan di balik repowering adalah membangun pembangkit listrik tenaga angin baru dengan kapasitas produksi listrik yang lebih besar di lokasi pembangkit listrik tenaga angin lama yang telah berakhir siklus hidupnya [40].

Modernisasi pembangkit listrik tenaga angin, penggantian bagian-bagiannya dengan yang baru, dan perpanjangan siklus hidupnya semuanya sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, dan khususnya, dengan penerapan slogan: “Eropa yang hemat sumber daya.” Perubahan dalam manajemen siklus hidup pembangkit listrik tenaga angin terutama dimaksudkan agar tidak berbahaya, efisien, dan berkualitas tinggi. Upaya melakukan modernisasi berkelanjutan memungkinkan untuk:

- Mengurangi emisi (misalnya : karbon dioksida) maupun penggunaan sumber daya alam dan penggunaan energi per unit listrik yang dihasilkan;
- Mengurangi intensitas penggunaan sumber daya saat membangun pembangkit listrik tenaga angin;
- Tingkatkan keamanan energi dengan cara memperpanjang siklus hidup dan ketersediaan pembangkit listrik tenaga angin.

3.3. Energi Kinetik

Kincir angin adalah suatu alat mesin konversi energi yang dapat mengkonversikan energi angin menjadi sebuah daya yang berguna dalam bentuk putaran poros, angin yang bergerak dengan suatu kecepatan tertentu akan memiliki energi dalam bentuk energi kinetik. Jika angin menumbuk sudu pada suatu kincir angin, maka rotor pada kincir angin tersebut akan berputar dan kemudian diteruskan ke sistem kinerja pembangkit tenaga angin maka dapat menghasilkan suatu energi dari putaran yang dihasilkan tersebut. Beberapa Penggunaan kincir angin secara umum anatara lain yaitu, pompa air untuk keperluan rumah tangga, irigasi, pembangkit listrik, penggunaan pada industri-industri menengah dan lain sebagainya [4].

Energi yang dimiliki oleh angin dapat dihitung dengan persamaan daya energi angin, yaitu [6] :

$$W = \rho A v^3 \quad (1)$$

dimana : W = adalah energi angin (Watt)

ρ = adalah kerapatan udara (Kg/m^3)

A = merupakan area penangkapan angin (m^2)

v = adalah kecepatan angin (m/s).

Persamaan (1) merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada kincir angin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat dirubah seluruhnya menjadi energi kinetik, walaupun tidak secara keseluruhan. Pada kincir angin terdapat beberapa faktor efesiensi, baik efesiensi energi mekanik maupun efesiensi dari generator sehingga daya yang didapat dari energi angin dapat diketahui melalui persamaan 2 :

$$W_{wt} = \frac{1}{2} \eta_{wt} \rho A v^3 \quad (2)$$

dimana : η_{wt} = mendefinisikan efisiensi kincir angin (%).

Hukum Faraday dapat dinyatakan dengan persamaan 3 :

$$e = N (d\Phi/dt) \quad (3)$$

dimana : e = merupakan gaya gerak listrik (GGL) induksi yang
dibangkitkan (Volt),

N = jumlah lilitan,

$d\Phi/dt$ = laju perubahan fluks (Webber).

Selain itu, nilai GGL induksi dapat dinyatakan juga dengan persamaan 4 :

$$e = B l v \quad (4)$$

dimana : B = kerapatan medan magnet (Tesla),

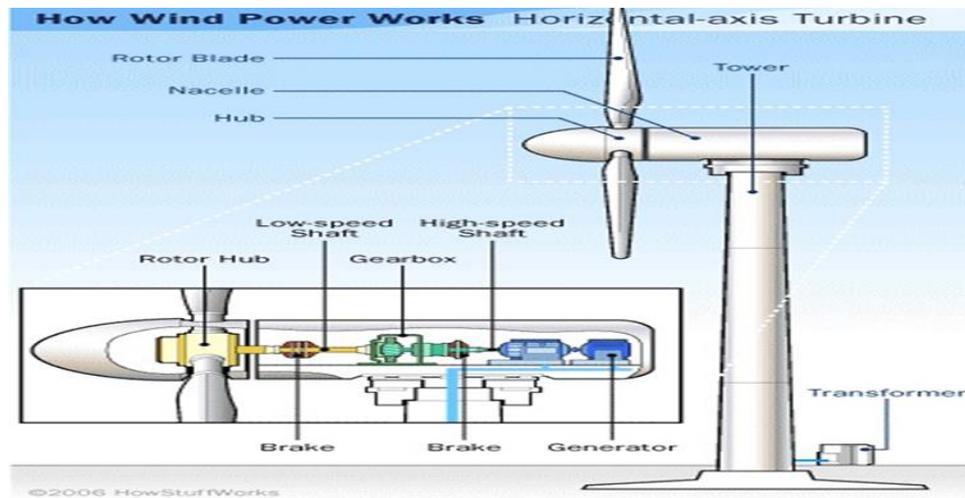
l = panjang kawat penghantar (m)

v = kecepatan konduktor memotong medan (m/s).

3.4. Turbin Angin

Turbin angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, melalui udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, menggiling jagung dan memompa air. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan yang sangat signifikan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama wilayah dengan aliran angin yang relatif tinggi. Turbin angin banyak dibangun di Belanda, Denmark, dan negara-negara Eropa lainnya yang sering disebut dengan Windmill.

Pada gambar 8a ditunjukkan bagaimana turbin angin bekerja, turbin angin bekerja dengan prinsip sederhana dimana angin memutar bilah angin untuk menghasilkan listrik. Angin memutar bilah turbin yang berbentuk baling – baling disetiap rotor, yang memutar generator, untuk menghasilkan listrik.



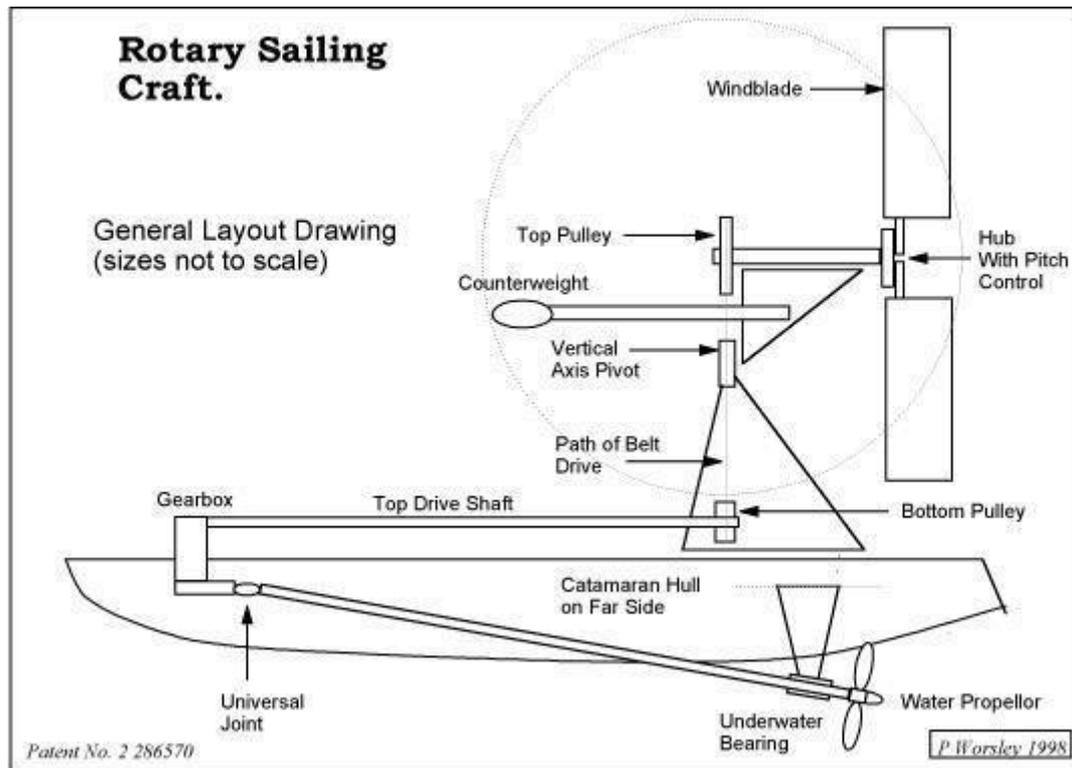
Gambar 8a : Cara kerja turbin angin. Sumber : IWSA

Dan pada gambar 8b diperlihatkan pembangkit listrik tenaga angin yang bekerja seperti sayap pesawat atau baling – baling helikopter. Ketika angin mengalir melintasi sudu, tekanan udara di salah satu sisi sudu berkurang. Perbedaan tekanan udara di kedua sisi bilah menghasilkan gaya angkat dan tarikan. Gaya angkat lebih kuat dibandingkan gaya hambat sehingga menyebabkan rotor berputar[5].



Gambar 8b. Penampakan arah angin pada turbi

Rotor terhubung ke generator, baik secara langsung (jika turbin penggerak langsung) atau melalui poros dan serangkaian roda gigi (kotak roda gigi) yang mempercepat putaran dan memungkinkan generator secara fisik lebih kecil. Turbin angin dapat dibangun di darat ataupun di lepas pantai.



Gambar 9 : General layout kapal yang digerakkan angin ,sumber : IWSA

Turbin angin berporos vertikal memiliki baling-baling yang dipasang secara vertikal pada poros horizontal. Mereka memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan untuk beroperasi dalam angin yang bervariasi dan arah angin yang tidak tetap. VAWT juga lebih cocok untuk aplikasi di lingkungan perkotaan karena tidak perlu menghadap angin searah. Namun, mereka biasanya memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan HAWT.

Pada tabel 2 diperlihatkan tipe dari turbin angin dan kegunaannya sehingga kita dapat mengetahui bahwa turbin angin berporos horizontal adalah jenis yang paling umum ditemukan di seluruh dunia. Mereka memiliki baling-baling yang dipasang secara horizontal pada poros vertikal. Turbin ini bekerja dengan memanfaatkan angin yang menerpa baling-baling dari depan, membuat baling-baling berputar dan menggerakkan generator listrik. HAWT umumnya lebih efisien dan lebih mudah untuk dipasang daripada jenis lainnya.

Tabel 2. Tipe Turbin Angin dan Kegunaannya

Tipe		Kecepatan	Torsi	Cp	Solidarity	Penggunaan
Aksis Horizontal	Multi Blade	Rendah	Tinggi	0,25 – 0,40	50 – 80	Tenaga Mekanik
	Three Blade Aerofoil	Tinggi	Rendah	Sampai 0,45	Kurang dari 5	Produksi Listrik
Aksis Vertikal	Panemone	Rendah	Sedang	Kurang dari 0,1	50	Tenaga Mekanik
	Darriues	Sedang	Sangat Rendah	0,25 – 0,35	10 – 20	Produksi Listrik

Perencanaan suatu kincir angin haruslah disesuaikan dengan keperluan dan berdasarkan pada perancangan ini, kincir angin dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil. Kincir angin dapat digolongkan menjadi dua tipe yaitu tipe horizontal dan tipe vertikal, namun yang paling banyak digunakan adalah kincir angin tipe horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horizontal secara sederhana dan sejajar dengan arah tiupan angin [15].

Prinsip dasar dari kincir angin yaitu mengkonversikan energi mekanik dari suatu putaran menjadi energi listrik dengan induksi elektro magnetik. Putaran kincir angin dapat terjadi dengan efektif dengan cara mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain batang kincir (blade). Ketersediaan angin dapat menentukan berapa jumlah blade yang harus digunakan, untuk berbagai penggunaan kincir angin kecepatan yang sangat memadai adalah menjadi faktor utama dalam mengimplementasi teknologi kincir angin [16].

Demikian juga dengan perancangan jumlah blade yang digunakan yaitu 3 (tiga) blade. Kincir angin yang menggunakan 3 (tiga) Blade akan menghasilkan kecepatan tinggi dengan torsi yang rendah dan mempunyai solidarity yang rendah. ini khusus digunakan untuk menghasilkan tegangan listrik [17].

Wind-assisted ship propulsion (WASP) dan pembangkit tenaga angin adalah dua cara utama untuk menerapkan energi angin dalam perkapalan saat ini di bidang industri. Energi angin laut lebih cocok untuk pembangkit listrik dibandingkan dengan energi angin terestrial, karena kehilangan energi dan pengurangan kecepatan angin akibat gesekan lebih kecil [18].

Fitur unik dari pembangkit tenaga angin yang diterapkan di kapal adalah dapat menghasilkan listrik terlepas dari arah angin. Saat memperkenalkan sistem pembangkit tenaga angin ke dalam sistem tenaga kapal, memilih turbin angin yang sesuai sangatlah penting.

HAWT memiliki efisiensi dan output daya yang lebih tinggi daripada VAWT namun, VAWT lebih cocok digunakan untuk mengeksplorasi energi angin di atas kapal karena kelebihanannya yaitu kompleksitas yang lebih rendah, pengoperasian yang mudah, biaya yang lebih rendah, dan stabilitas kapal yang lebih tinggi.

Kapal modern dengan bantuan angin terutama ditenaga mesin utama dan dibantu oleh layar, yang dikendalikan oleh komputer dan memiliki prinsip operasi yang berbeda dari layar tradisional mempelajari berbagai layar yang dapat digunakan dengan teknologi WASP Layar lunak, aerofoil (layar sayap), layar rotor Flettner, dan skysail adalah layar bantuan angin yang banyak digunakan [19].

Layar fleksibel dapat memberikan daya dorong ke kapal di sebagian besar waktu pelayaran dan diperpanjang untuk operasi yang berbeda dibandingkan dengan layang-layang penarik, fluktuasi daya keluaran layar rotor Flettner lebih kecil dan dapat menghasilkan lebih banyak daya di beberapa rute karena perbedaannya tergantung pada kecepatan dan arah angin [20].

Beberapa kesulitan dalam peluncuran dan pendaratan layang-layang membuatnya kurang menarik dibandingkan teknologi layar, meskipun layang-layang penarik memiliki potensi besar untuk digunakan di kapal.

Nelissen. D dkk [17], menganalisis kinerja layar lunak kapal pesiar dan interaksi Fluida-Struktur antara aliran udara dan layar, telah dilakukan penelitian tentang koefisien kinerja layar kaku berbentuk busur dan persyaratan kriteria stabilitas kapal berbantuan layar.

Kapal layar berbantuan motor adalah konsep baru yang diusulkan oleh G. Atkinson dkk [20], yang memperkirakan bahwa lebih dari 50% tenaga propulsi dapat disuplai oleh tenaga angin maritim.

Teknologi energi terbarukan lebih maju di industri berbasis lahan daripada di industri kelautan, termasuk penggunaan metodologi pengoptimalan untuk mengintegrasikan sistem tenaga angin. Laboratorium Energi Terbarukan Nasional.

mengembangkan algoritma optimasi menggunakan model optimasi hibrida dari energi terbarukan listrik (HOMER) [24]. Model ini menggunakan simulasi komputer untuk mengoptimalkan sistem energi terbarukan pada pembangkit listrik.



(a) “Hornblower Hybrid” ship.

(b) The installed Savonius wind turbine.

Gambar 9. Kapal Hornblower Hybrid , sumber : IWSA

3.5. Generator

Generator atau alternator adalah suatu unit atau mesin yang dapat digunakan sebagai suatu mesin yang bisa mengubah energi gerak atau mekanik menjadi keluaran listrik dengan adanya kerja induksi elektromagnetik. Generator yang bekerja terus menerus dalam sebuah produksi industri harus selalu diperhatikan agar mesin dapat terus bekerja. Kerja pada mesin yang baik dapat didasari adanya pemeliharaan yang baik [20].

Generator merupakan suatu alat pembangkit utama energi listrik yang dipakai sekarang ini dan merupakan alat koversi terbesar di dunia. Namun pada prinsipnya tegangan yang dihasilkan oleh generator bersifat bolak balik sedangkan

generator yang menghasilkan tegangan searah proses penyerahan didalamnya adalah sangat kecil untuk dapat dilakukan [21]. Generator merupakan suatu mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi dari energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip generator dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis magnet. Generator adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, dengan menggunakan induksi elektromagnetik [22].

3.5.1. Gangguan pada Generator dan Penyebabnya

Gangguan pada generator sering terjadi karena adanya kelemahan dalam pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan seperti di bawah ini :

1. Gangguan-gangguan ini disebabkan beberapa faktor diantaranya : umur baterai yang digunakan sebagai penghasil arus DC pada generator sudah cukup lama dan harus segera diganti agar sistem starter otomatis pada generator tetap berfungsi dengan baik [23].
2. Charger Battery yang sudah rusak diakibatkan adanya pemakaian tanpa henti serta overheating pada mesin yang menyebabkan charger battery tidak dapat mengisi ulang baterai pada generator serta terjadinya korosi.
3. Pada bagian alternator, penyalur listrik menuju trafo kadang mengalami kerusakan dengan tingkat tegangan yang tidak sesuai bahkan over load.
4. Sistem pelumasan mengalami kerusakan akibat adanya panas yang lebih (over heating) dan kebocoran pada saluran pembagi yang mengakibatkan oli tidak teraliri dengan baik dan tingkat level oli yang tidak cukup [24].

5. Pengaman trip, ini biasanya akan terjadi karena adanya kerusakan pada sistem stop mesin yang rusak. Akibat dari adanya putaran lebih, temperatur pendingin air yang tinggi, tekanan pelumas yang rendah dan kerusakan pada alarm otomatis generator sehingga proteksi tidak bekerja secara normal.
6. Grounding atau pentanahan, biasanya adanya isolator yang terkupas dan kerusakan pada isolator fasa ke tanah dan penangkal petir.
7. Sistem pendingin mengalami kegagalan akibat adanya over heating pada komponen tersebut, serta selang radiator atau radiator yang mengalami kerusakan akibat tersumbat dan kebocoran pada sistem pendingin [25].

3.5.2. Langkah-langkah Penanggulangan dan Pemeliharaan Generator.

Langkah tepat menanggulangi atau mengurangi kerusakan diantaranya:

1. Mengurangi munculnya gangguan, misalnya :
 - a. Pasang kabel tanah/saluran tanah pada saluran transmisi untuk mengurangi gangguan petir.
 - b. Pasang penangkal petir untuk mencegah kerusakan peralatan akibat sambaran petir.
 - c. Pengoperasian dan pemeliharaan yang baik, serta penerapan pemrograman yang baik [26].
2. Hindari tegangan arus yang terhubung singkat dengan cara:
 - a. Mencegah kapasitas pembangkitan melebihi ambang batas (overload).
 - b. Pemasangan impedansi ataupun pembatasan resistansi, arus [27]

3. Memisahkan bagian-bagian sistem yang akan terganggu dengan cara :
 - a. Proteksi relai, adalah suatu instalasi yang diproteksi melalui penggunaan sarana ataupun perlengkapan relai. Alat ini dapat bekerja secara otomatis.
 - b. Sekering pengaman (fuse), adalah dengan cara menggunakan filamen penghubung yang mudah terputus atau terbakar jika terjadi korsleting atau hubungan pendek [28].
4. Mengurangi rugi-rugi separasi dari bagian sistem yang terganggu oleh :
 - a. Dual channel adalah ketika kita membuat kabel dual channel sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu channel, kita dapat dengan segera menanganinya dengan cara memindahkan channel tersebut ke kabel yang lain.
 - b. Sambungan ulang otomatis, yaitu sistem pengaman yang secara otomatis dapat memutuskan atau menutup saluran yang terganggu [29].

4.1.2. Jenis Pemeliharaan Rutin dan Non Rutin

1. Pemeliharaan Rutin [30].
 - a. Preventive Maintenance (Perawatan pencegahan)

Pemeliharaan ini dilaksanakan secara rutin pada interval waktu yang telah ditetapkan dengan melihat keadaan mesin yang tetap beroperasi bertujuan meminimalkan kerusakan pada saat mesin bekerja.
 - b. Predictive Maintenance (Prediksi Perawatan)

Perawatan pemantauan yang sudah ditentukan waktu pemeliharaan dengan waktu tertentu sebelum mesin mengalami tanda-tanda adanya kerusakan .

c. Periodic Maintenance (Perawatan Interval Waktu)

Perawatan dengan interval waktu tertentu dilakukan dengan cara perawatan rutin seperti membersihkan mesin, memeriksa mesin, mengisi oli mesin, dan jika perlu diganti, gantilah suku cadangnya agar mesin tidak tiba-tiba rusak yang dapat mengakibatkan kerusakan mesin yang lebih fatal lagi nantinya [31].

2. Pemeliharaan Non Rutin

a. Corrective Maintenance, adalah pemeliharaan yang biasa dilakukan dengan memahami dan memeriksa apa yang menjadi penyebab kerusakan dan memperbaiki peralatan agar mesin dapat bekerja dengan normal kembali.

b. Engineering Maintenance

Mengganti atau memodifikasi peralatan atau unit untuk memulihkan atau meningkatkan kemampuan dan keandalan peralatan (unit). Pelaksanaan pekerjaan ini dapat dilakukan dengan cara penambahan aset atau sekedar peningkatan kinerja perangkat atau unit.

c. Breakdown Maintenance

Pemeliharaan saat mesin dalam keadaan kondisi mati dapat dilakukan penggantian ataupun perbaikan pada mesin atau unit agar mesin dapat berjalan dengan normal kembali [32].

Beberapa penerapan metode yang dapat dilakukan dengan cara menentukan penerapan pada suatu metode pemeliharaan yang baik pada generator seperti : pemeriksaan pada panel daya, pemberian pengetahuan K3 pada pekerja, monitoring pada mesin yang baik, serta pemeliharaan mesin yang teratur dan terjadwal [33].

1. *Autonomous Maintenance* (Pemeliharaan Otonom), Pemeliharaan ini yang menitik beratkan kepada perawatan mesin dengan cara pemberian pelumas, pembersihan debu, dan pengecekan visual panel maupun mesin.
2. *Planned Maintenance* (Perawatan Terencana), Perawatan terencana ini diikuti dengan cara pemeliharaan secara preventive dengan selalu menjadwalkan pemeliharaan misalnya pemberian pelumas pada bearing pada tempo waktu yang telah ditentukan.
3. *Quality Maintenance* (Pemeliharaan Kualitas), Pemeliharaan pada generator ini harus dilaksanakan dengan memelihara kualitas daya yang dihasilkan pada generator dengan memperhatikan pada panel distribusi utama (*Main Distribution Panel*).
4. *Training* (Pelatihan), Pelatihan tentang mengetahui tentang pemeliharaan mesin dan pemahaman tentang cara memonitoring panel yang bekerja serta pengoperasiannya.
5. *Health Safety Environment* (Lingkungan Keselamatan Kesehatan), Memperhatikan prosedur tentang keselamatan kerja operator dan teknisi pada perusahaan agar mesin yang bekerja juga dilakukan pengecekan yang teratur agar mesin bekerja dengan baik [31].

Pelaksanaan Pemeliharaan Generator

Pada Tabel 3 kita dapat melihat jadwal sistem perawatan yang disesuaikan dengan PMS (*Plan Maintenance System*) yang telah ditetapkan oleh maker, berpedoman sesuai dengan buku manual dan kondisi di lapangan. Sistem perawatan ini dilaksanakan agar generator dapat beroperasi maksimal dan beroperasi dalam jangka waktu yang lama [32]. Seperti terlihat pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Hasil Pemeliharaan dan *Maintenance* Pada Generator

Jenis Pemeliharaan	Interval waktu	Uraian
Preventive Maintenance	2 x 168 Jam	Pemberian pelumas pada bearing dilakukan Untuk mencegah kerusakan bearing. Pemberian pelumas disebut (<i>Lubrication</i>). Dan juga pembersihan (cleaning) mesin yang berdebu menghindari kerusakan dan Panas berlebih pada mesin. Serta pengecekan suhu jika suhu mesin melebihi 40 °C maka mesin harus diberi pelumas kembali
Predictive Maintenance	1 x 24 jam Setiap 30 menit Dalam seharinya	Pemeriksaan visual berupa pengecekan suara dan getar(vibrasi). Biasanya pada suara bising yang melebihi 50- 85 dB dengan catatan jika terjadi kebisingan melebihi 85 dB, maka ada kerusakan pada mesin tersebut, dan pengecekan daya turbin yang dihasilkan untuk memastikan daya yang dihasilkan tidak terjadi kerusakan. apabila terjadi kerusakan bisa dicegah dengan menurunkan daya pada panel
Breakdown Maintenance /Repair	1-2 x 8.760 jam atau saat mesin breakdown	Penggantian unit bearing yang dilakukan setelah lama hanya diberikan pelumas dan sudah masa umur alatnya.
Periodic Maintenance	1-12 bulan non rutin dan rutin 1 x 24 jam	Pembersihan mesin yang menumpuk akibat adanya debu yang bisa menyebabkan kerusakan seperti panas pada mesin dan sebagainya.
Corrective Maintenance	1-2 x 1 tahun atau saat unit mesin mengalami kerusakan	Perbaikan pada alternator, charger baterai, sistem pelumas dan panel kontrol

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ini meliputi waktu dan tempat serta pada saat penelitian, alat dan bahan. Pada saat prosedur penelitian akan dilakukan beberapa langkah pengujian untuk pengambilan data dan kecepatan serta arah mata angin, penjelasan lebih rinci tentang metodologi penelitian akan dipaparkan seperti di bawah ini :

3.1. Waktu dan tempat penelitian

Waktu pada saat pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan dalam waktu 5 bulan terhitung mulai tanggal 12 Januari 2024 sampai 12 Mei 2024. Dimulai dengan disetujuinya proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian ini dilaksanakan di Kota Medan Kecamatan Medan Belawan (Pelabuhan).

3.2. Tahapan percobaan

Tahapan yang mulai dilakukan pada penelitian dimulai dengan studi literature, Studi literature dimaksudkan untuk mempelajari dari berbagai sumber referensi atau berbagai teori dari jurnal penelitian sebelumnya yang ada kaitan hubungannya antara kecepatan angin dan suhu terhadap daya yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik tenaga angin. Dalam literatur dunia orang biasanya menemukan analisis terutama tentang penilaian profitabilitas dan produktivitas pembangkit listrik tenaga angin setelah perpanjangan umur hidup dan repowering [41,42,47,48], namun yang hilang adalah penilaian komprehensif tentang manfaat serta biaya ekologis, energi, dan ekonomi yang timbul dari modernisasi dalam siklus hidup pembangkit listrik tenaga angin.

Ziegler dkk [41], melakukan analisis kemungkinan teknis, ekonomi, dan hukum yang berkaitan dengan perpanjangan seumur hidup yang menunjukkan bahwa profitabilitas proses ini bergantung pada harga pasar energi dan dengan demikian berbeda tergantung pada negara. Bes dkk. [42] mengusulkan sistem pendukung keputusan untuk operator pembangkit listrik tenaga angin tentang cara mengakhiri siklus hidup fasilitas, dengan mempertimbangkan topografi tanah, sumber daya angin, jenis turbin, dan data keuangan dalam penilaian profitabilitas proses penonaktifan, repowering, dan perpanjangan masa pakai . Sebuah metodologi juga dikembangkan untuk menilai kemungkinan memperpanjang masa pakai menara turbin angin dengan pertimbangan khusus yang diberikan kepada variabel angin dan tegangan yang terjadi pada elemen struktural ini [49]. Martinez dkk. [50] telah menunjukkan bahwa proses repowering menyebabkan peningkatan produksi listrik turbin angin di lokasi yang sama dengan dampak lingkungan yang lebih kecil. Studi tentang repowering telah menunjukkan bahwa upaya tersebut menimbulkan peningkatan baik daya dan produktivitas.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, tujuan dari makalah ini adalah untuk mengembangkan metodologi untuk menilai efisiensi energi dan biaya lingkungan yang dikeluarkan dalam proses siklus hidup pembangkit listrik tenaga angin dalam periode penggunaan 25 tahun dan untuk menilai pembangkit listrik yang sama setelah mengalami modernisasi berkelanjutan untuk memperpanjang siklus hidupnya hingga 50 tahun. Prosedur analitis dan penelitian yang dilakukan adalah model baru dan pendekatan metodologis, yang merupakan sumber data berharga untuk pengelolaan siklus hidup pembangkit listrik tenaga angin yang berkelanjutan dalam ekonomi yang berfokus pada efisiensi proses dan keberlanjutan energi dan sumber daya material.

3.3. Alir Penelitian

a. Studi Literature

Pada studi literature ini dilakukan beberapa pencarian informasi atau bahan berupa materi baik dari jurnal maupun dari internet serta sumber-sumber lain yang ada kaitannya dengan penelitian ini. Materi tersebut diantaranya mengenai penelitian tentang turbin angin sebagai penggerak mula dan generator DC yang dapat menghasilkan listrik.

b. Persiapan

Setelah melakukan studi literature, kemudian mempersiapkan segala sesuatu yang kaitannya dengan penelitian ini. Beberapa persiapan yang akan dilakukan yaitu mempersiapkan software untuk membantu saat proses analisis

c. Pengambilan Data

Setelah melakukan persiapan selanjutnya yaitu pengambilan data-data kecepatan angin pada lokasi penelitian. Data yang digunakan adalah dari NASA yang diambil melalui software HOMER.

d. Analisa Data

Setelah dilakukannya pengambilan data maka selanjutnya adalah melakukan analisis potensi energi angin yang ada pada lokasi penelitian untuk pemanfaatan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB).

e. Kesimpulan

Manfaat pengoperasian pembangkit listrik tenaga angin antara lain berupa produk berupa energi, pendapatan finansial, peningkatan kualitas, pengurangan emisi ke lingkungan, diversifikasi sumber energi, pengembangan dan pengaktifan lingkungan, serta manfaat potensial lainnya yang hingga saat ini belum dapat ditentukan.

3.4. Teknik Pengambilan Data

Demi mendukung penelitian ini, adapun data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

a. Data Kecepatan Angin

Nilai kecepatan angin yang terdapat pada lokasi penelitian. Nilai kecepatan ini diperoleh melalui sample pengukuran manual dan menggunakan aplikasi HOMER. Data untuk pengukuran manual digunakan alat anemometer, untuk data yang menggunakan aplikasi HOMER telah tersedia data kecepatan angin dari tiap-tiap daerah yang ada di lokasi penelitian.

b. Data beban yang digunakan diambil dari beban perumahan secara umum yang digunakan. Data di dapat melalui aplikasi HOMER.

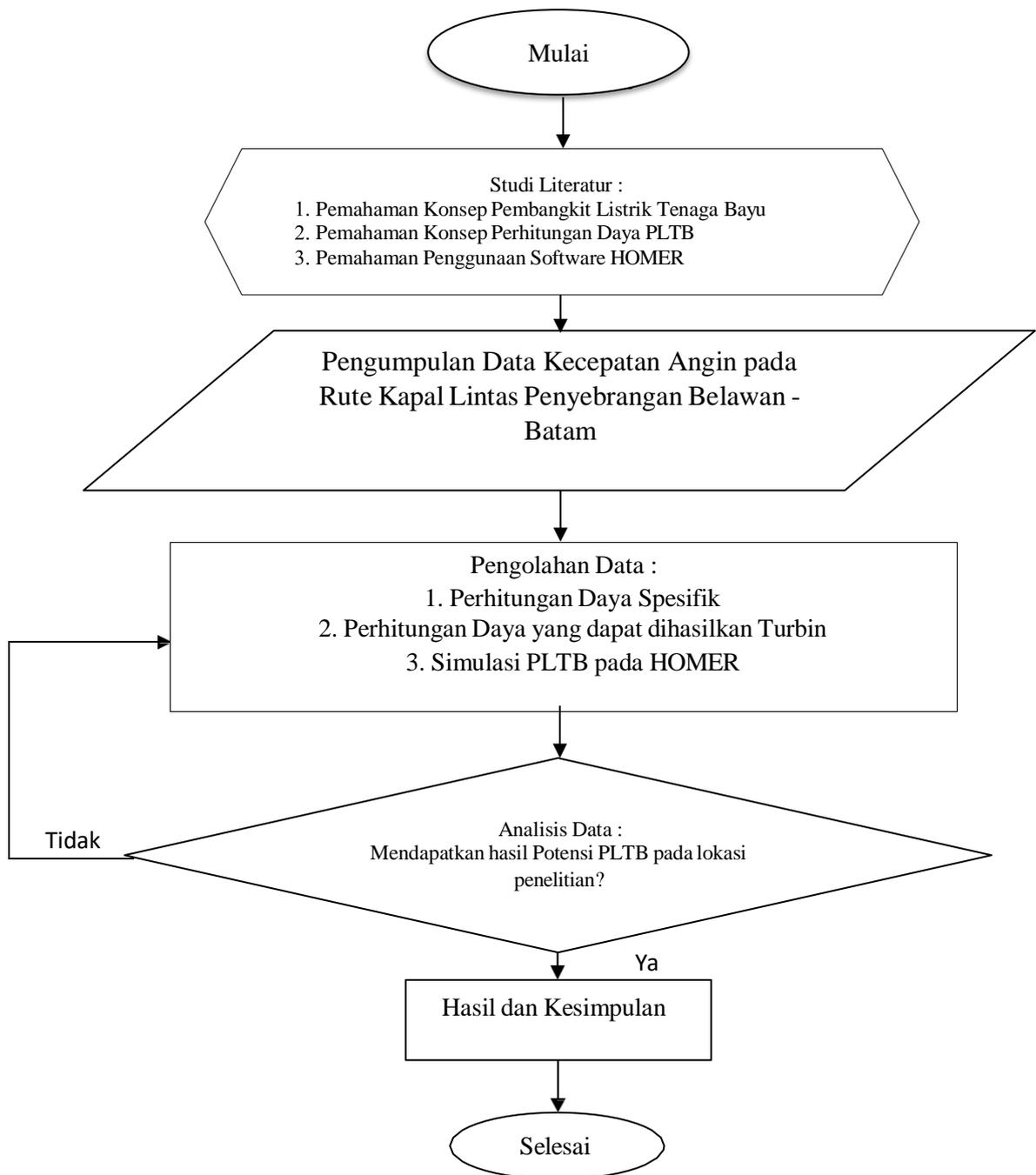
3.5. Teknik Analisis

Dari data-data yang telah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah proses analisis data yang ada. Langkah – langkah teknik analisis data pada penelitian ini adalah seperti di bawah ini :

1. Data-data kecepatan angin yang didapatkan melalui aplikasi HOMER, dimana diambil data kecepatan angin dari 5 titik yang diambil sebagai sampel.
2. Dari data-data kecepatan angin yang ada akan dihitung nilai daya efektif yang dapat dihasilkan dimana sesuai dengan kecepatan angin yang ada.
3. Kemudian segera dilakukan simulasi percobaan untuk perencanaan PLTB pada tempat penelitian untuk memperoleh secara detail potensi dari PLTB tersebut.

3.6. Flowchart analisa data penelitian

Adapun proses berlangsungnya analisa data ini akan dijelaskan dalam bentuk alur diagram berikut ini :



Gambar 3.2 Diagram alur analisa data penelitian.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

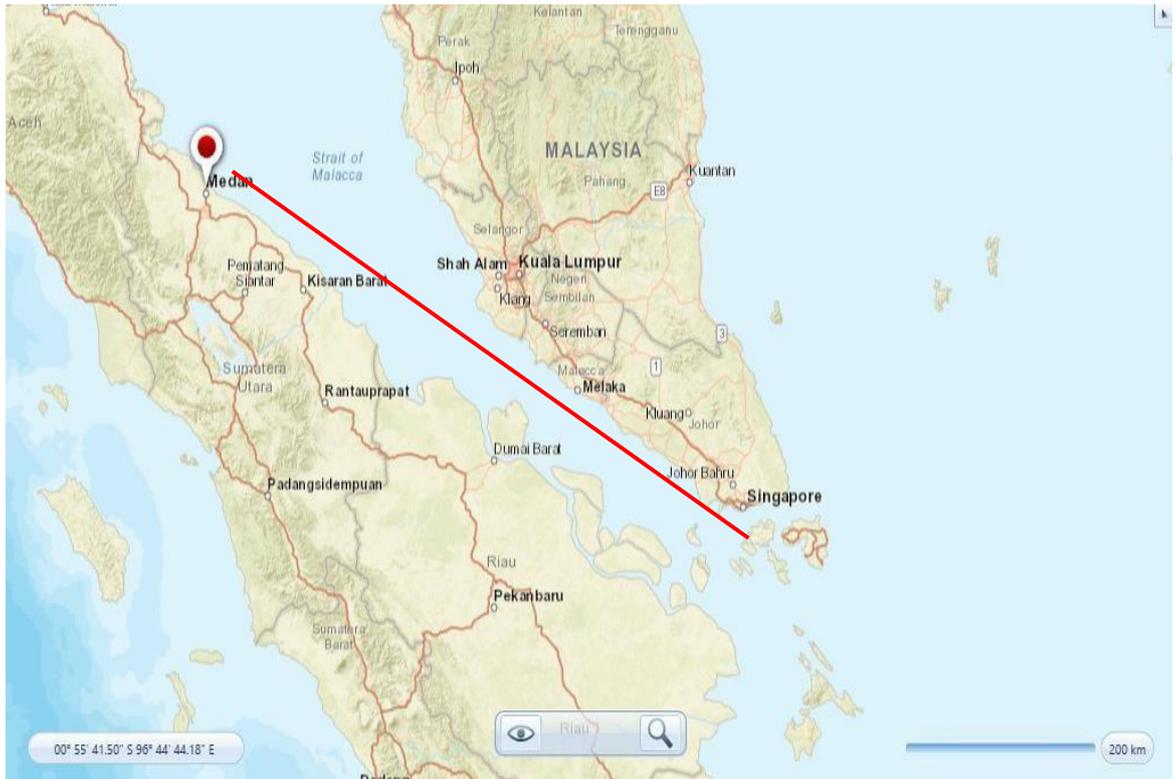
4.1. Data Kapal

Data yang paling utama dibutuhkan pada penelitian ini untuk pengolahan data adalah data kapal. Data kapal meliputi rute pelayaran, jarak pelayaran dan luas kapal. Adapun data kapal yang digunakan terdapat pada Tabel 4 :

Tabel 4. Rute pelayaran dan data kapal

Rute Pelayaran	Pelabuhan Belawan – Pelabuhan Batam
Jarak Pelayaran (kM)	716,3
Panjang Kapal (m)	76
Lebar Kapal (m)	12
Tinggi Geladak Kapal (m)	5,5
Kecepatan Kapal (Knots)	10
Luas Total Kapal (m ²)	2145

Diketahui rute yang dilalui kapal pada penelitian ini adalah pelabuhan belawan medan sampai dengan pelabuhan batam. Seperti terlihat pada gambar 4.1 setelah ditarik garis lurus pada peta maka rute perjalanan kapal akan terlihat dengan jelas. Hal ini sama juga apabila kita menarik garis haluan pada peta dan akan terlihat posisi kapal saat sandar di pelabuhan Belawan serta tujuan keberangkatan kapal yang akan menuju Batam.

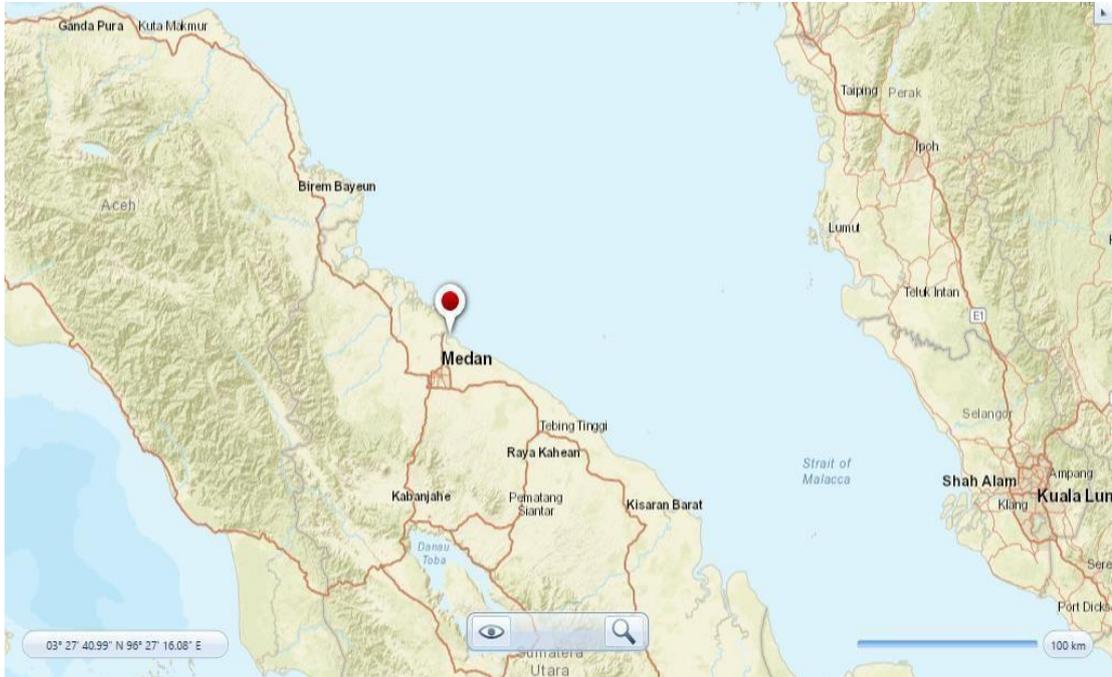


Gambar 4.1 Rute Kapal

Maka data kecepatan angin dapat diambil dari rute tersebut, untuk mendapatkan nilai rata-rata kecepatan angin dari rute yang dilalui kapal maka dilakukan pengambilan data sebanyak 5 titik. Adapun data kecepatan angin pada rute yang dilalui kapal seperti terlihat pada Gambar 4.2 :

a. Data Kecepatan Angin Titik 1

(03° 17' 40.99" N 96° 27' 16.08" E)

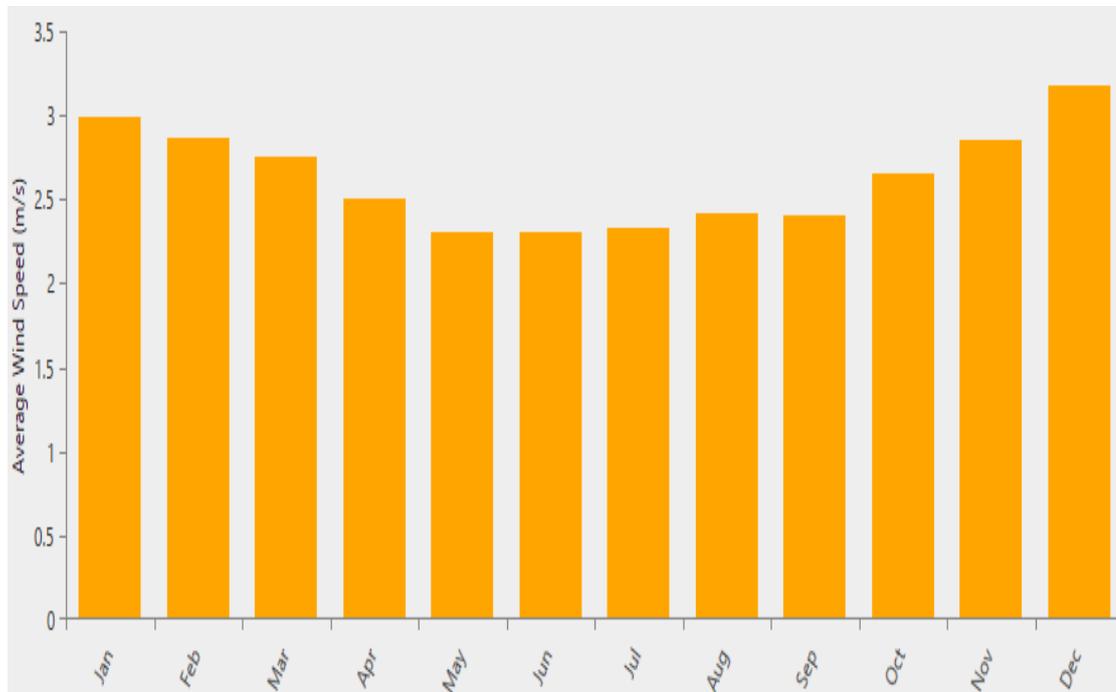


Gambar 4.2 Pengambilan data kecepatan angin titik 1

Tabel 4.1 Data kecepatan angin titik 1

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Jan	2,990
Feb	2,860
Mar	2,750
Apr	2,500
May	2,300
Jun	2,310
Jul	2,330
Aug	2,420
Sep	2,410
Oct	2,650
Nov	2,850
Dec	3,180
Rata-rata	2,63

Dari data kecepatan angin pada Tabel 4.1 adapun grafik kecepatan angin diperlihatkan pada Gambar 4.3 :



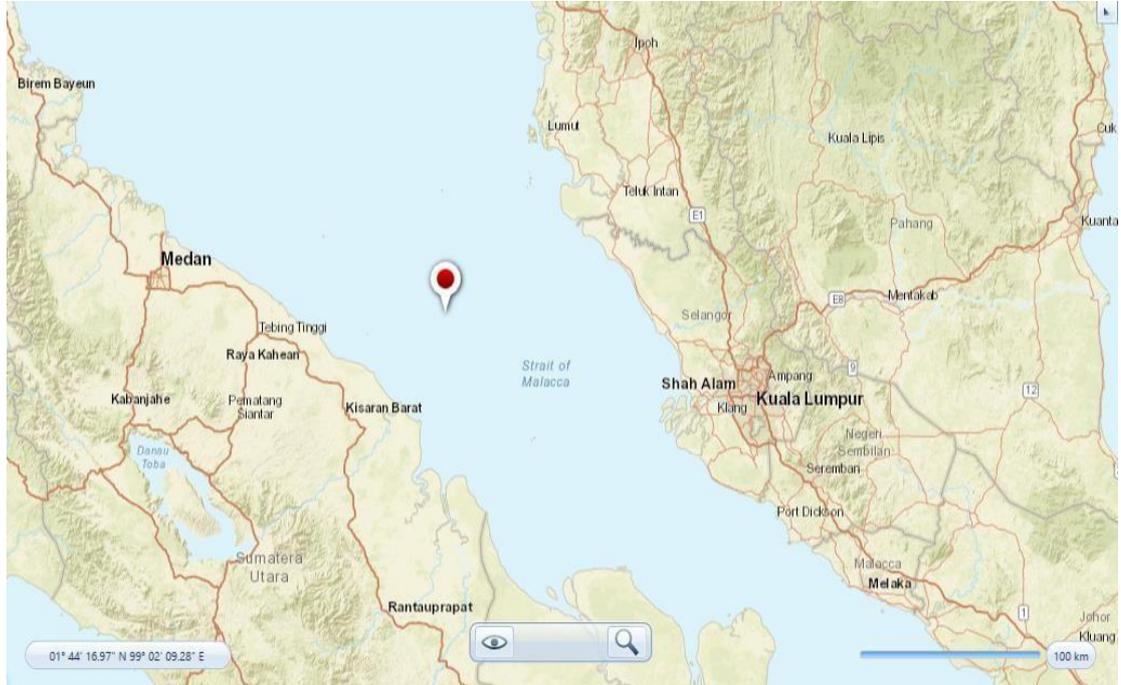
Gambar 4.3. Grafik kecepatan angin titik 1

Dapat dilihat pada titik 1 kecepatan angin relatif tidak terlalu besar yaitu dengan rata – rata 2,63 m/s. kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan desember dan terkecil terjadi pada bulan mei dan juni.

Data pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.3 juga disesuaikan dengan melihat almanak nautika yang relatif tidak berbeda jauh, sehingga data ini kami input ke dalam grafik dan data ini kami ambil dalam jangka waktu satu tahun pada titik yang sama yaitu garis kordinat yang sama dengan menggunakan HOMER.

b. Data Kecepatan Angin Titik 2

(01° 44' 16.97" N 99° 02' 09.28" E)

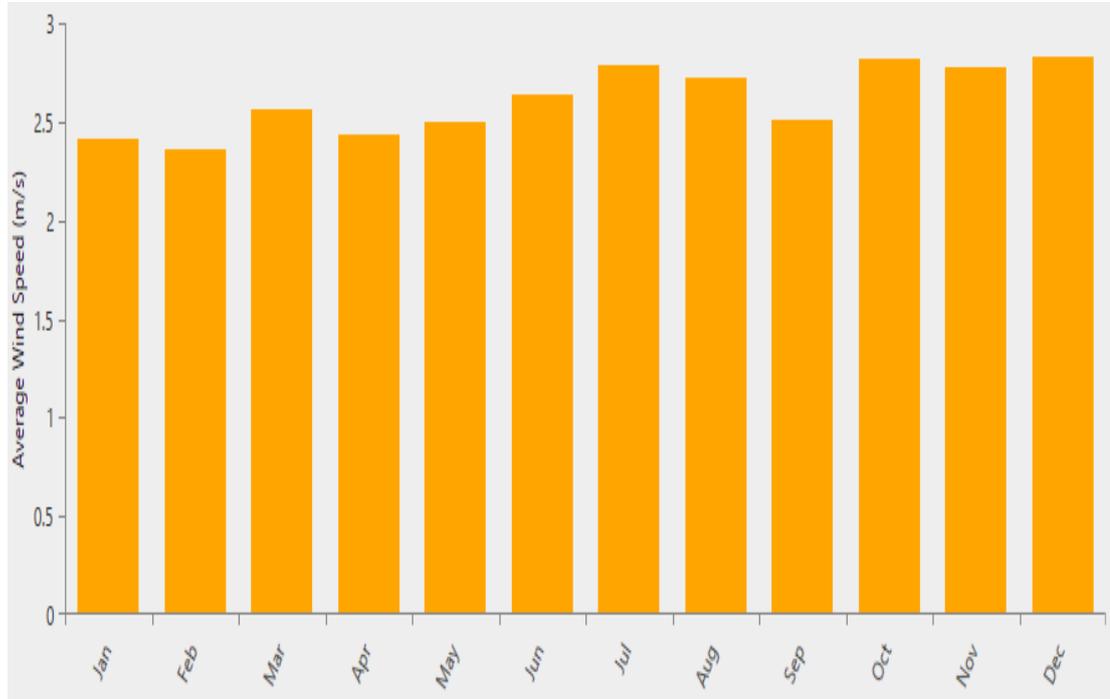


Gambar 4.4 Pengambilan data kecepatan angin titik 2

Tabel 4.2 Data kecepatan angin titik 2

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Jan	2,410
Feb	2,360
Mar	2,560
Apr	2,430
May	2,500
Jun	2,640
Jul	2,790
Aug	2,720
Sep	2,510
Oct	2,820
Nov	2,780
Dec	2,830
Rata-rata	2,61

Dari data kecepatan angin pada Tabel 4.2 adapun grafik kecepatan angin diperlihatkan pada Gambar 4.5:



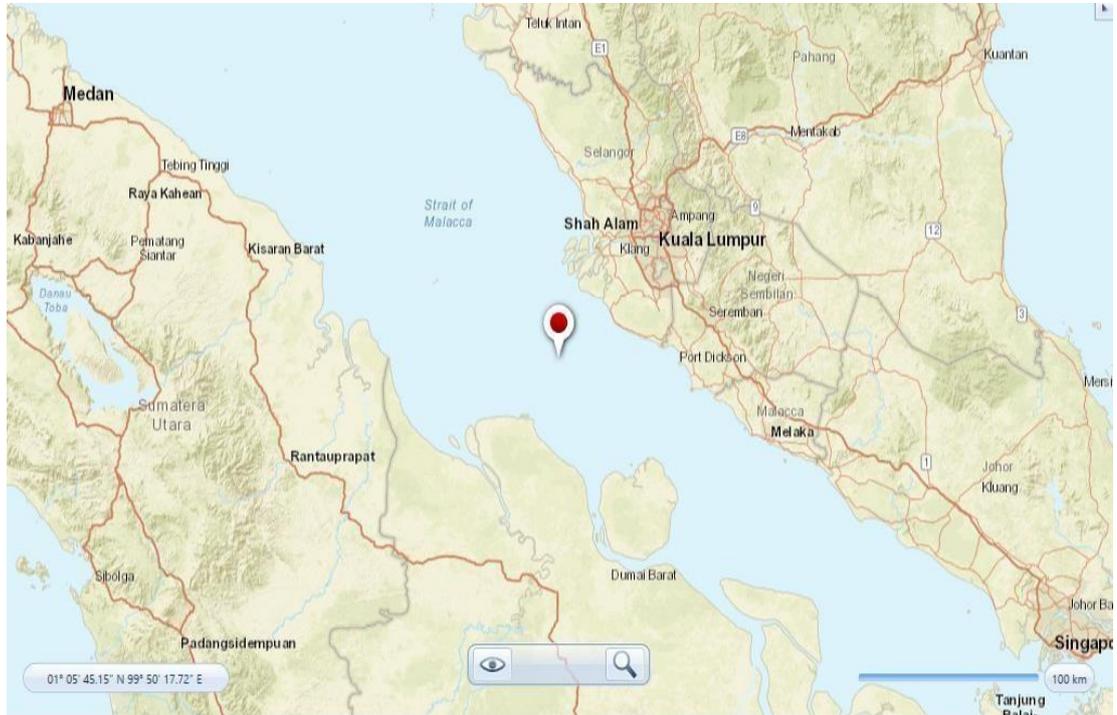
Gambar 4.5. Grafik kecepatan angin titik 2

Dapat dilihat pada titik 2 kecepatan angin relatif tidak terlalu besar yaitu dengan rata – rata 2,61 m/s. kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan desember dan terkecil terjadi pada bulan february.

Data pada tabel 4.2 dan gambar 4.5 juga disesuaikan dengan melihat almanak nautika yang relatif tidak berbeda jauh, sehingga data ini kami input ke dalam grafik dan data ini kami ambil dalam jangka waktu satu tahun pada titik yang sama yaitu garis kordinat yang sama dengan menggunakan HOMER.

c. Data Kecepatan Angin Titik 3

(01° 05' 45.15" N 99° 50' 17.72" E)

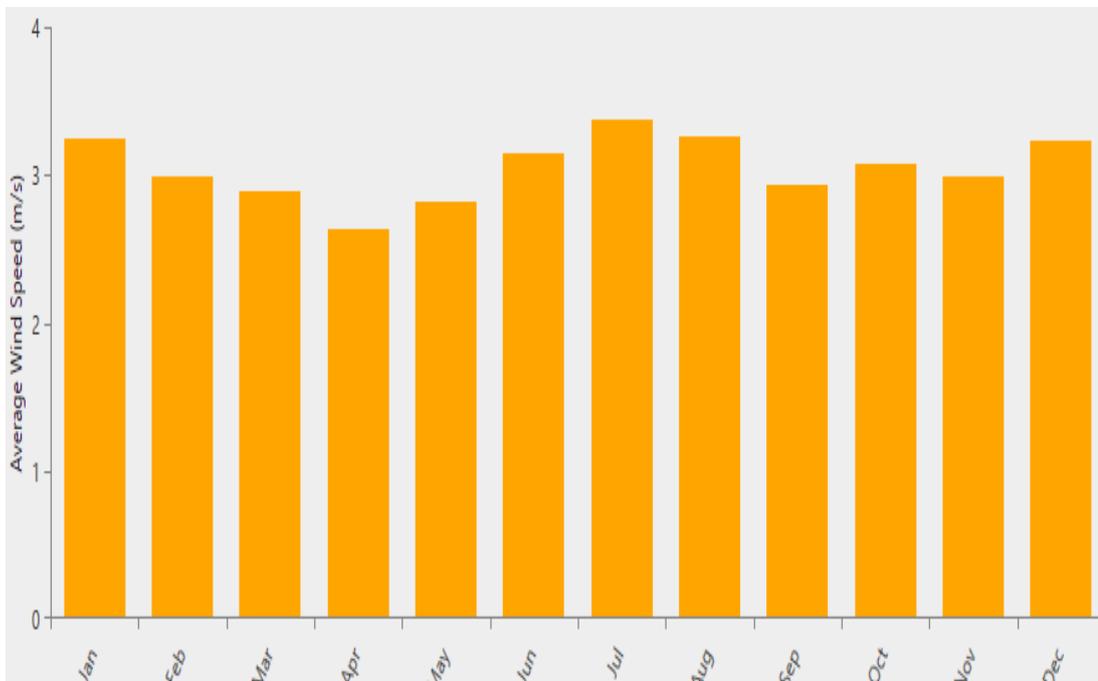


Gambar 4.6 Pengambilan data kecepatan angin titik 3

Tabel 4.3 Data kecepatan angin titik 3

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Jan	3,240
Feb	2,990
Mar	2,890
Apr	2,640
May	2,820
Jun	3,140
Jul	3,380
Aug	3,260
Sep	2,930
Oct	3,080
Nov	2,990
Dec	3,230
Rata-rata	3,05

Dari data kecepatan angin pada Tabel 4.3 adapun grafik kecepatan angin diperlihatkan pada Gambar 4.7 :



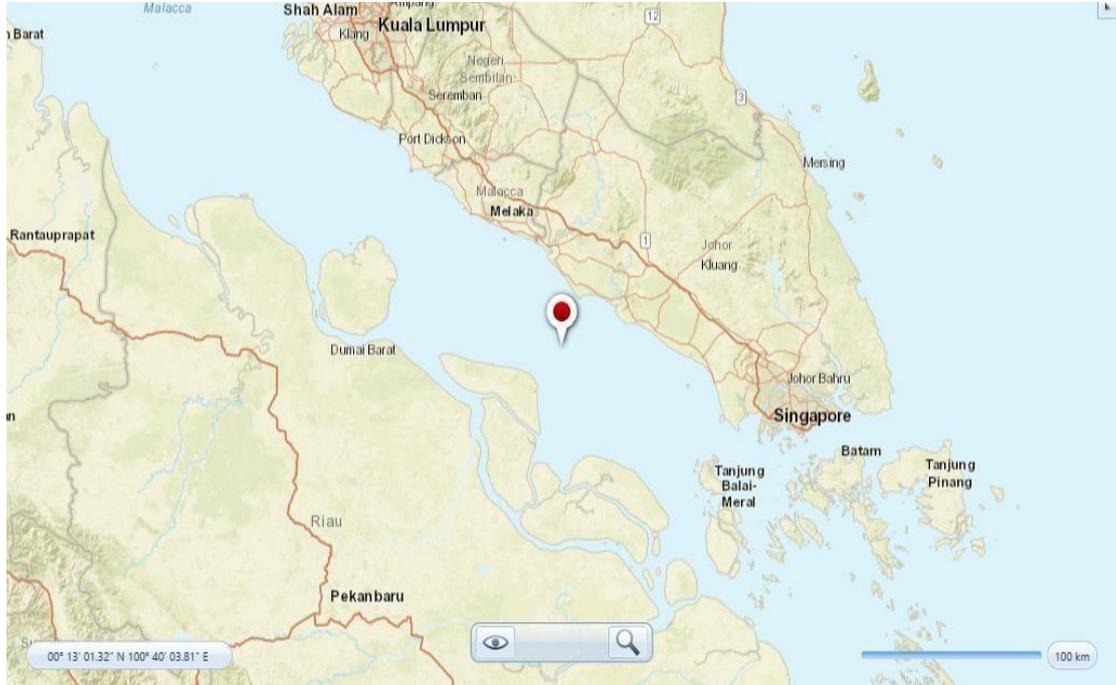
Gambar 4.7. Grafik kecepatan angin titik 3

Dapat dilihat pada titik 3 kecepatan angin relatif tidak terlalu besar yaitu dengan rata – rata 3,05 m/s. kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan januari dan terkecil terjadi pada bulan april.

Data pada tabel 4.3 dan gambar 4.7 juga disesuaikan dengan melihat almanak nautika yang relatif tidak berbeda jauh, sehingga data ini kami input ke dalam grafik dan data ini kami ambil dalam jangka waktu satu tahun pada titik yang sama yaitu garis kordinat yang sama dengan menggunakan HOMER.

d. Data Kecepatan Angin Titik 4

(00° 13' 01.32" N 100° 40' 03.81" E)

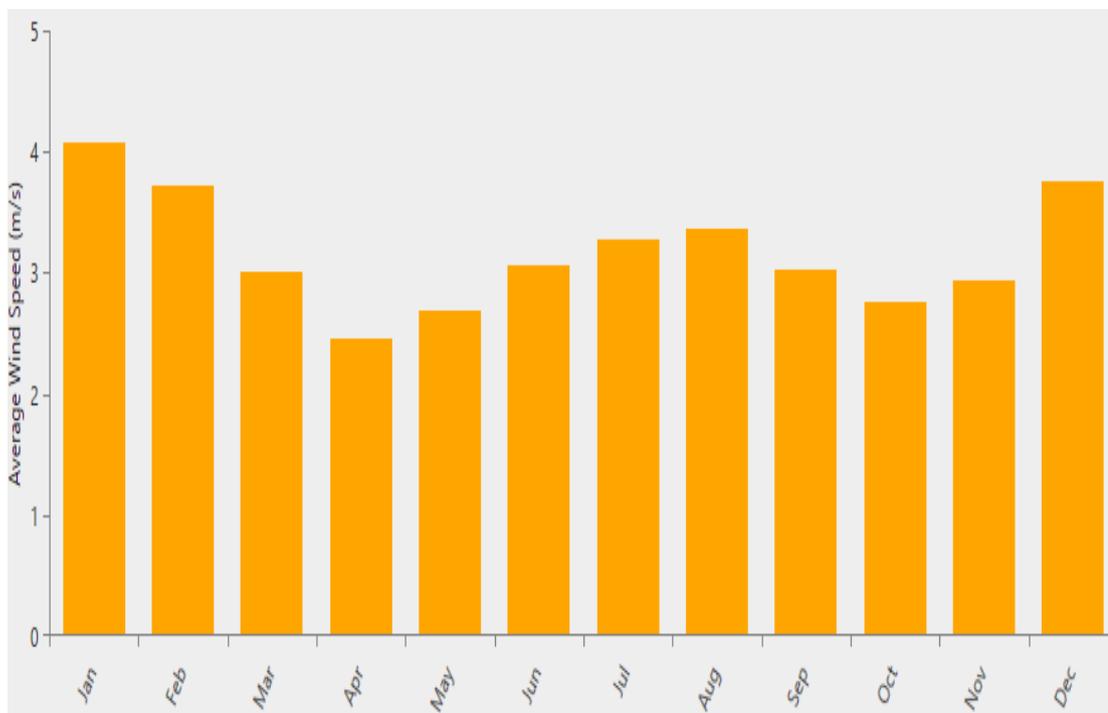


Gambar 4.8 Pengambilan data kecepatan angin titik 4

Tabel 4.4 Data kecepatan angin titik 4

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Jan	4,080
Feb	3,710
Mar	3,010
Apr	2,450
May	2,680
Jun	3,060
Jul	3,280
Aug	3,360
Sep	3,020
Oct	2,760
Nov	2,930
Dec	3,750
Rata-rata	3,17

Dari data kecepatan angin pada Tabel 4.4 adapun grafik kecepatan angin diperlihatkan pada Gambar 4.9 :



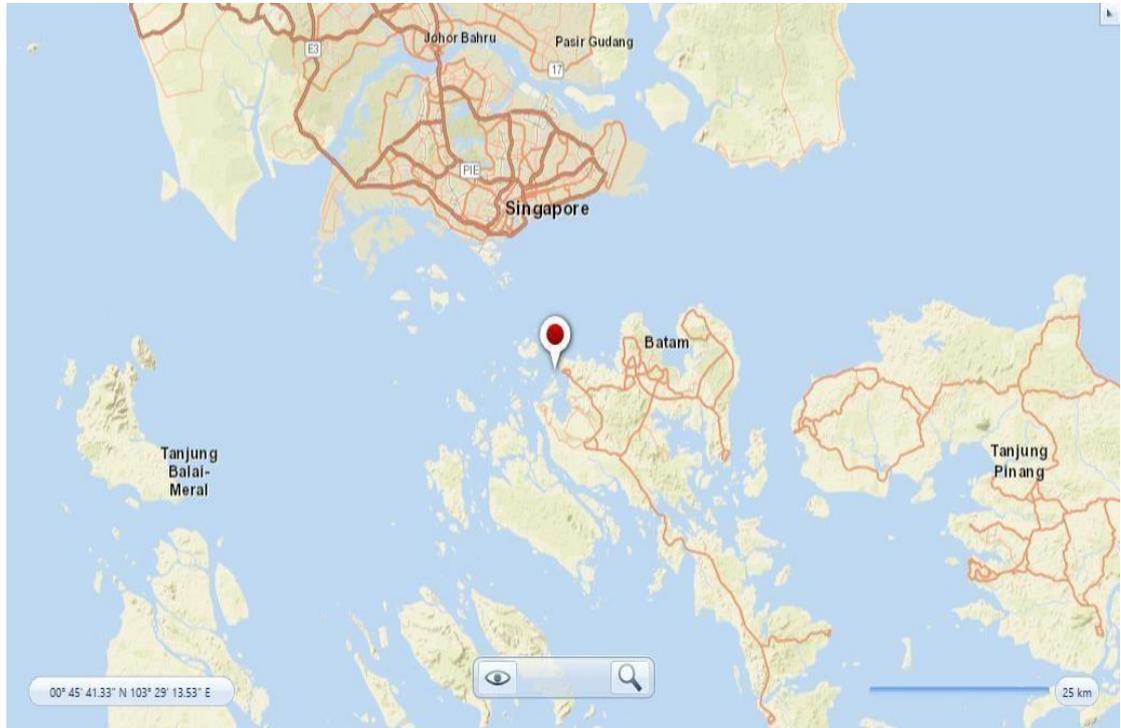
Gambar 4.9. Grafik kecepatan angin titik 4

Dapat dilihat pada titik 3 kecepatan angin relatif tidak terlalu besar yaitu dengan rata – rata 3,17 m/s. kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan januari dan terkecil terjadi pada bulan april.

Data pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.9 juga disesuaikan dengan melihat almanak nautika yang relatif tidak berbeda jauh, sehingga data ini kami input ke dalam grafik dan data ini kami ambil dalam jangka waktu satu tahun pada titik yang sama yaitu garis kordinat yang sama dengan menggunakan HOMER.

e. Data Kecepatan Angin Titik 5

(00° 45' 41.33" N 103° 29' 13.53" E)

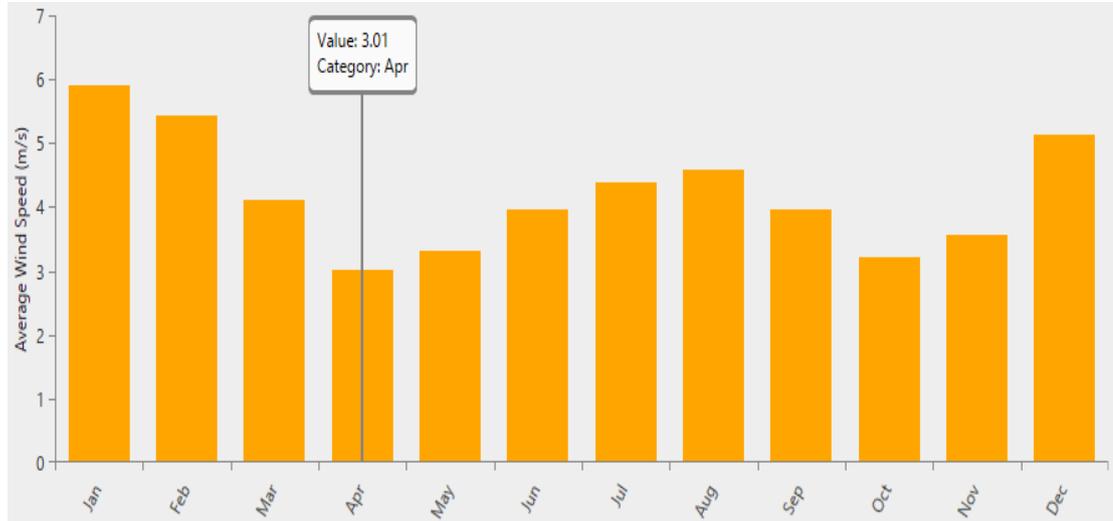


Gambar 4.10 Pengambilan data kecepatan angin titik 5

Tabel 4.5 Data kecepatan angin titik 5

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Jan	5,900
Feb	5,420
Mar	4,110
Apr	3,010
May	3,310
Jun	3,950
Jul	4,380
Aug	4,580
Sep	3,950
Oct	3,210
Nov	3,560
Dec	5,120
Rata-rata	4,21

Dari data kecepatan angin pada Tabel 4.5 adapun grafik kecepatan angin diperlihatkan pada Gambar 4.11 :



Gambar 4.11 Grafik kecepatan angin titik 4

Dapat dilihat pada titik 3 kecepatan angin relatif besar dibanding titik yang lain yaitu dengan rata – rata 4,21 m/s. kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan januari dan terkecil terjadi pada bulan april.

Data pada tabel 4.5 dan gambar 4.11 juga disesuaikan dengan melihat almanak nautika yang relatif tidak berbeda jauh, sehingga data ini kami input ke dalam grafik dan data ini kami ambil dalam jangka waktu satu tahun pada titik yang sama yaitu garis kordinat yang sama dengan menggunakan HOMER.

f. Rata – rata kecepatan angin rute kapal

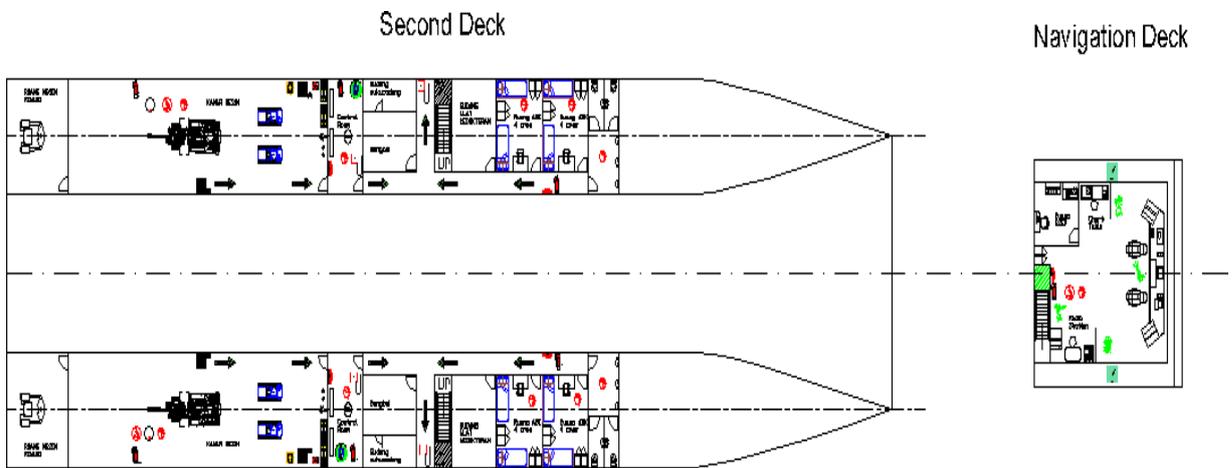
Tabel 4.6 Rata-rata kecepatan angin

Titik	Rata – Rata Kecepatan Angin (m/s)
1	2,63
2	2,61
3	3,05
4	3,17
5	4,21
Rata-rata	3,13

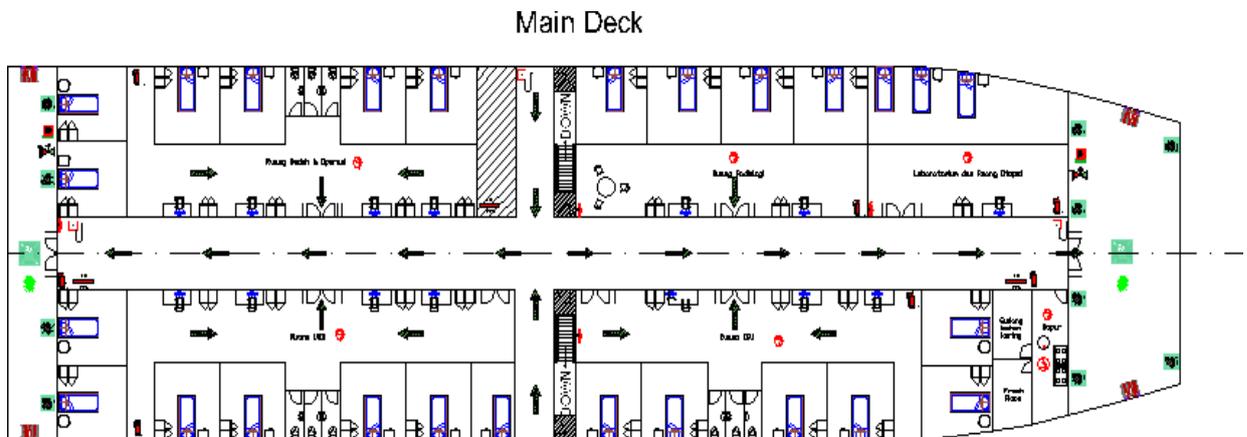
Dari Tabel 4.6 diatas dapat disimpulkan rata – rata kecepatan angin yang dilalui kapal selama pelayaran Belawan-Batam adalah 3,13 m/s.

4.1.Data Beban Pada Kapal

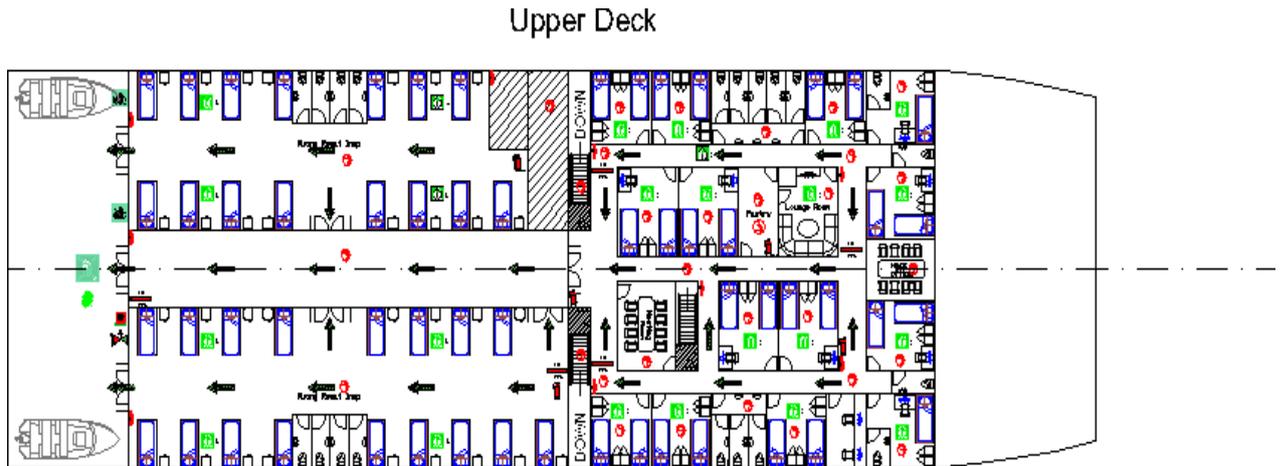
Data beban pada kapal yang diambil pada penelitian ini adalah hanya beban penerangan. Kapal rute belawan batam ini memiliki 3 deck yang meliputi upper deck, main deck dan second deck. Adapun denah kapal dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.12 Second Deck



Gambar 4.13 Main Deck



Gambar 4.14 Upper Deck

Adapun pembagian beban penerangan masing – masing deck dapat dilihat pada Tabel-tabel berikut ini :

Tabel 4.7 Beban Listik Pada Second Deck

No	Jenis Beban	Daya (Watt)	Jumlah	Waktu Pemakaian (Hour)	Total Pemakaian (WattHour)
1	Lampu 45 W	45	14	24	15.120
2	Lampu 20 W	20	12	24	5.760
3	Lampu 15 W	15	4	24	1.440
4	Lampu 19 W	19	4	24	1.824
Total					24.144

Tabel 4.8 Beban Listik Pada Main Deck

No	Jenis Beban	Daya (Watt)	Jumlah	Waktu Pemakaian (Hour)	Total Pemakaian (WattHour)
1	Lampu 45 W	45	18	24	19.440
2	Lampu 20 W	20	26	24	12.480
3	Lampu 15 W	15	26	24	9.360
4	Lampu 19 W	19	10	24	4.560
Total					45.840

Tabel 4.9 Beban Listik Pada Upper Deck

No	Jenis Beban	Daya (Watt)	Jumlah	Waktu Pemakaian (Hour)	Total Pemakaian (WattHour)
1	Lampu 45 W	45	20	24	21.600
2	Lampu 20 W	20	28	24	13.440
3	Lampu 15 W	15	24	24	8.640
4	Lampu 19 W	19	8	24	3.648
Total					47.328

Dari ketiga tabel diatas dapat diketahui total daya terpakai selama perjalanan kapal pada second deck adalah 24.144 Wh, pada main deck 45.840 Wh dan pada upper deck adalah 47.328 Wh. Maka total pemakaian beban penerangan pada kapal selama perjalanan adalah sebesar 117.312 Wh atau 117,31 kWh

4.2. Analisis Potensi Energi Angin

Energi angin dapat di konversi atau di transfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Berikut merupakan data-data hasil perhitungan dimana daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara. Untuk mencari nilai daya spesifik digunakan persamaan :

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho$$

Dari pengambilan sampel data sebanyak 5 lokasi pada rute perjalanan kapal dari belawan menuju batam dapat diketahui daya spesifik pada kecepatan angin rata rata dari 5 titik lokasi pengambilan data adalah :

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,13^3 \cdot 1,2 \\ &= 18,39 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

Maka dari hasil perhitungan berdasarkan persamaan diatas adapun daya spesifik yang dihasilkan oleh kecepatan angin rata – rata oleh 5 titik pengambilan data rute perjalanan kapal adalah $18,39 \text{ W/m}^2$. Maka dari angka ini menunjukkan rute yang dilalui kapal kurang potensial untuk pemanfaatan PLTB. Untuk memanfaatkan potensi energi angin dibawah 5 m/s yang diterima poros turbin kincir, diperlukan turbin angin poros horizontal, generator berdaya besar yang dapat menghasilkan daya listrik besar dan didukung dengan teknologi yang baik, seperti menggunakan sistem untuk pengaturan turbin terhadap kecepatan angin dan arah angin yaitu aktif stall control. Kemudian untuk mengantisipasi kelemahan fluktuasi keberadaan angin serta menjaga kontinuitas penyaluran daya dan faktor kapasitas dapat diantisipasi dengan sistem penyimpanan menggunakan baterai, atau dapat menggunakan sistem on-grid.

4.3. Pemilihan Teknologi Turbin

Pada lokasi penelitian dapat dilihat potensi angin yang ada sangatlah kecil, tidak mencapai 2 m/s . maka teknologi turbin yang digunakan adalah yang sesuai dengan standar dibawah 5 m/s (kecepatan angin minimal untuk berpotensi). Diasumsikan digunakan turbin dengan teknologi kecepatan angin dibawah 5 m/s dengan kapasitas

10 kW. Adapun spesifikasi turbin yang diasumsikan kedalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.9 :

Tabel 4.9 Spesifikasi Turbin Angin [24]

Tipe Turbin	Vertikal
Daya Keluaran Maksimal	10 Kw
Kecepatan Angin Minimal	2.0 m/s
Kecepatan Angin Terbaik	10 m/s
Kecepatan Angin Maksimal	50 m/s
Efisiensi Generator	80%
Kebisingan	< 45 Db
Berat Turbin	78 kg
Material Baling – Baling	Aluminium Alloy
Jumlah Baling – Baling	3
Diameter Baling - Baling	4,2 m
Luas Sapuan Baling - Baling	84,64 m
Berat Baling - Baling	42 Kg

Dengan asumsi penggunaan turbin yang ada pada tabel diatas maka dapat dihasilkan potensi angin pada lokasi penelitian seperti di bawah ini :

Masa Udara :

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \cdot A \cdot v \\
 &= 1,225 \cdot 84,64 \cdot 3,13 \\
 &= 324,53 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Energi Kinetik :

$$\begin{aligned}
 Ek &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 324,53 \cdot 3,13^2 \\
 &= 1589,7 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Daya Turbin :

$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot \rho \cdot A \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,08^3 \cdot 1,2 \cdot 86,64 \\
 &= 1627,26 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan di atas dapat dilihat pada Tabel 4.10 :

Tabel 4.10 Potensi Angin

Turbin Poros Vertikal			
Rata – Rata Kecepatan Angin (m/s)	Masa Udara (kg/s)	Energi Kinetik (Joule)	Daya Yang Dihasilkan Turbin (Watt)
3,13	324,53	1589,7	1627,26

Dapat dilihat pada tabel 4.10 daya yang dapat dihasilkan oleh turbin dengan kapasitas 10 kW setiap jamnya adalah sebesar 1627,26 Watt.

4.4. Analisis Kebutuhan Turbin Mensuplai Beban

Setelah diketahui daya keluaran yang dapat dihasilkan turbin setiap jamnya, maka selanjutnya adalah menganalisis kebutuhan turbin untuk mensuplai beban penerangan yang ada pada kapal. Diketahui kebutuhan beban penerangan pada kapal adalah sebesar 117,31 kWh/24jam sedangkan turbin 10 kW dapat menghasilkan daya sebesar 1627,26 W/jam atau 39,05 kW/24jam. Maka untuk mensuplai daya terpakai pada kapal dapat dihitung dengan persamaan :

Rugi – Rugi Inverter 15%

$$\begin{aligned} \text{Maka} &= 39,05 - (15\% \times 39,05) \\ &= 39,05 - 5,86 \\ &= 33,19 \text{ kW/24jam (daya keluaran 1 turbin kapasitas 10Kw)} \end{aligned}$$

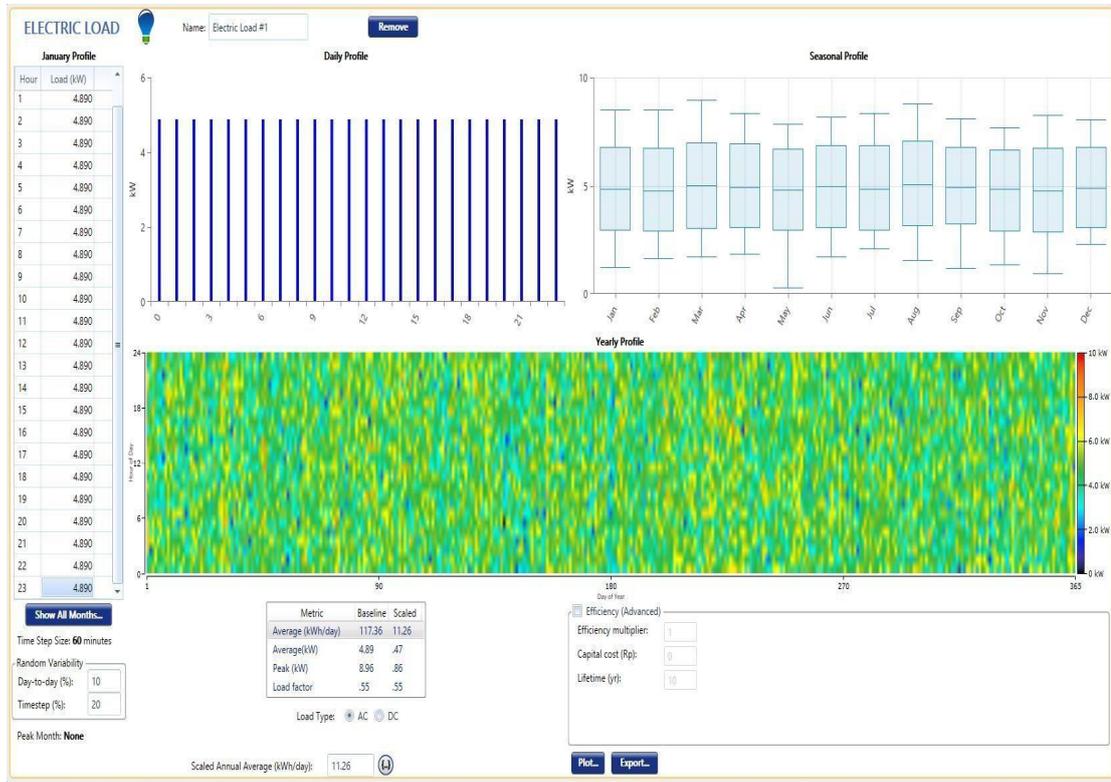
$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Turbin} &= 117,31/33,19 \\ &= 3,534 \text{ Turbin} \\ &= 3,534 \text{ digenapkan menjadi 4 turbin} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat disimpulkan untuk mensuplai beban penerangan yang ada pada kapal selama perjalanan rute Belawan-Batam adalah memerlukan 4 unit turbin dengan kapasitas 10Kw.

4.4.1. Simulasi Turbin Menggunakan HOMER

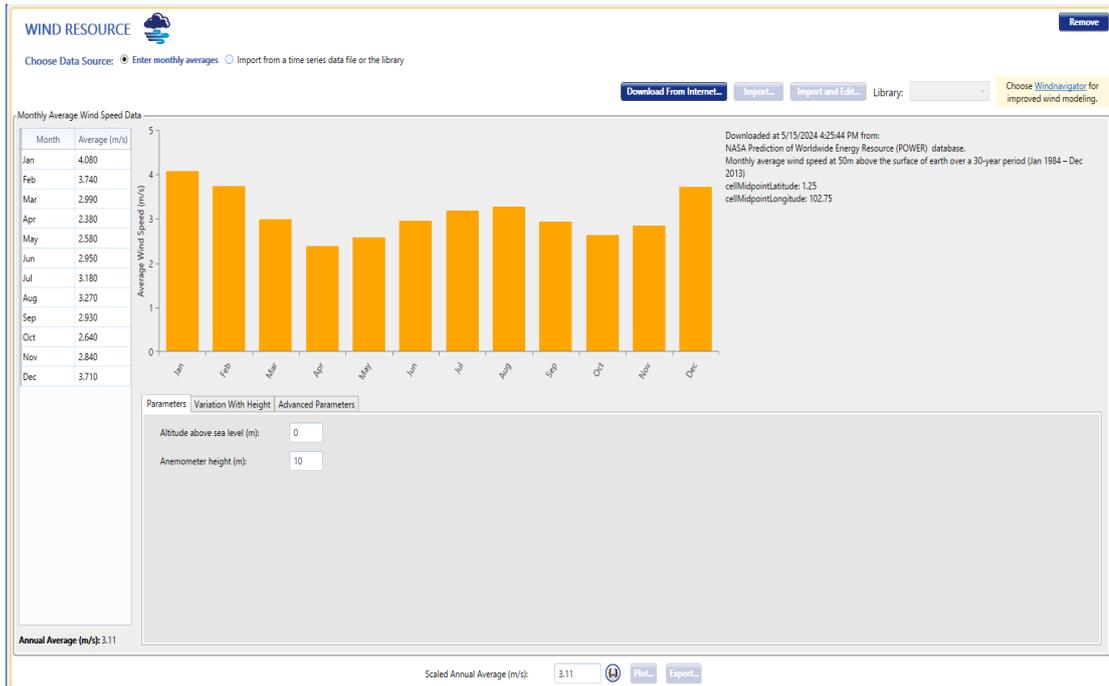
Untuk mempermudah mengetahui kinerja turbin dan biaya yang dibutuhkan untuk investasi awal dan biaya per kWh dapat dilakukan dengan bantuan aplikasi yaitu HOMER.

Adapun hasil simulasi pada HOMER untuk PLTB mensuplai beban penerangan pada kapal dapat di lihat pada Gambar 4.14 di bawah ini:



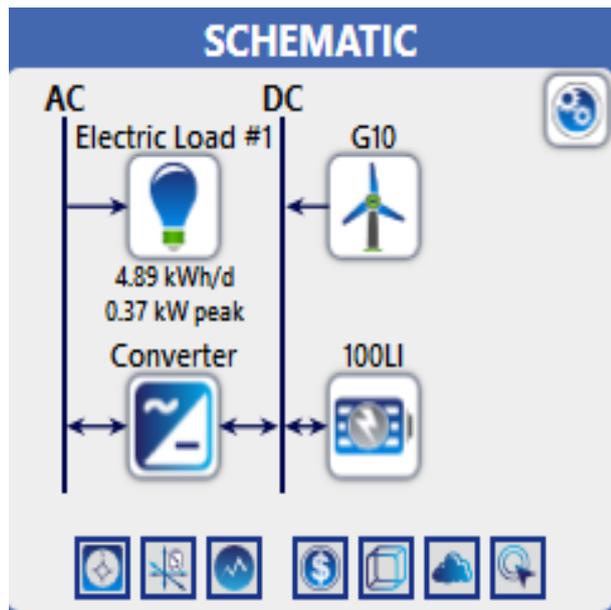
Gambar 4.14 Input beban pada HOMER

Pada gambar 4.14 dapat dilihat beban yang diinput adalah total pemakaian beban penerangan pada kapal yaitu : 117 kWh/24 jam.



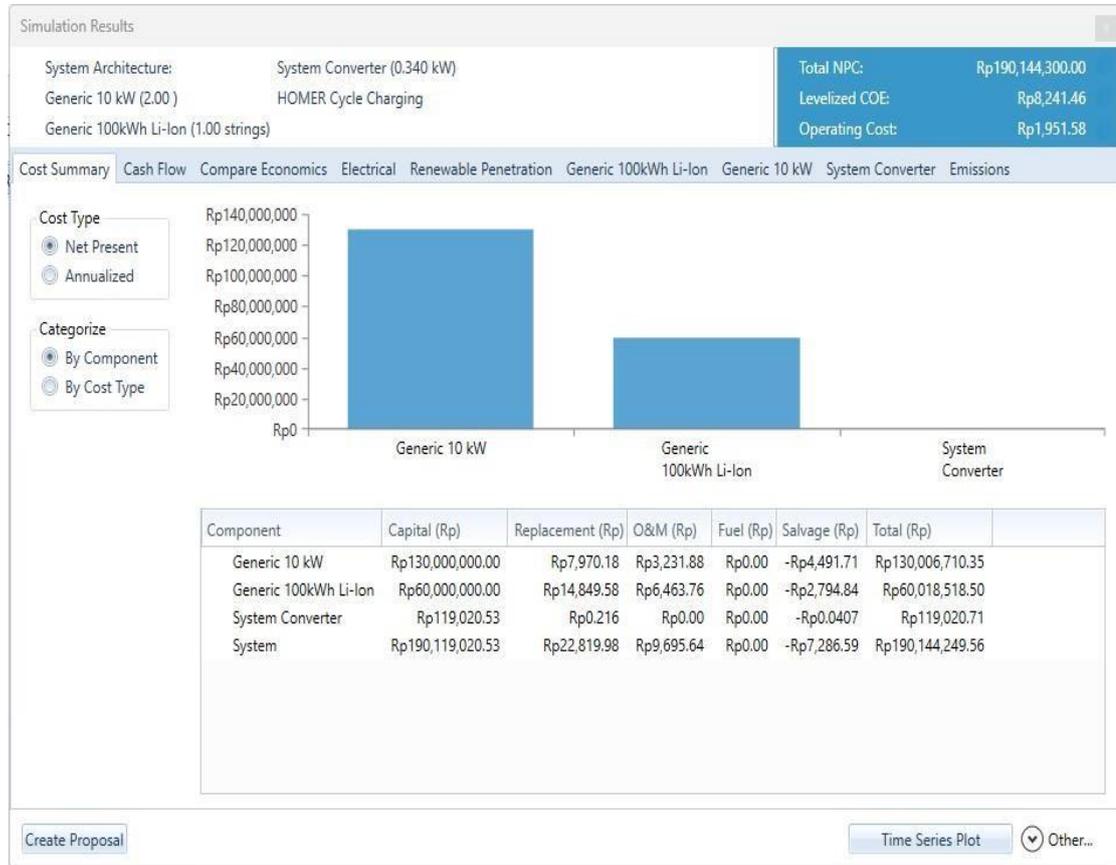
Gambar 4.15 input kecepatan angin pada rute kapal 3,13 m/s

Adapun skema bus pembangkit listrik yang digunakan terhadap beban yang terpasang pada kapal dapat di lihat pada Gambar 4.16 di bawah ini :



Gambar 4.16 Skema PLTB

Dari hasil simulasi pada HOMER maka didapat seperti pada Gambar 4.17 di bawah ini :



Gambar 4.17 hasil simulasi HOMER

Pada gambar 4.17 dapat dilihat total NPC atau modal awal yang dibutuhkan untuk membangun PLTB yang akan mensuplai beban penerangan pada kapal adalah sebesar Rp. 190.144.300 dengan biaya operasi per kWh nya adalah sebesar Rp. 1.951,58.



Gambar 4.18 Electrical

Gambar 4.18 menjelaskan tentang electrical perencanaan PLTB untuk mensuplai beban, dapat dilihat bahwa turbin dapat menghasilkan daya sebesar 6.432 kWh/tahun. Dimana simulasi ini asumsikan beban akan disuplai dengan PLTB sebesar 100%.



Gambar 4.19 Wind Penetration

Wind penetration adalah kebermanfaatan energi angin untuk menggerakkan turbin sehingga menjadi energi listrik. Dapat dilihat wind penetration hasil simulasi homer pada lokasi penelitian adalah 360% yang artinya turbin bekerja secara efektif untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini maka didapat kesimpulan seperti di bawah ini :

1. Untuk menjaga agar pengoperasian peralatan bisa tetap maksimal kita harus melaksanakan PMS (*Plan Maintenance System*) yang sesuai dengan *Manual Book* dan begitu juga komponen-komponen dan material yang dipergunakan harus segera diganti apabila sudah mendekati batas maksimal jam kerjanya (Running Hours).
2. Tindakan-tindakan pencegahan dan perawatan pada peralatan disesuaikan dengan jadwal yang telah ditetapkan.
3. Data kapal menunjukkan penggunaan daya penerangan pada kapal adalah sebesar 4,89 kWh/jam atau 117 kWh/hari yaitu selama kapal berjalan dari rute belawan menuju batam.
4. Dari data yang diperoleh dapat dilihat dari 5 titik lokasi penelitian kecepatan angin yang dihasilkan oleh masing – masing tempat ada yang relatif kecil dan ada yang besar, rata – rata dari data sampel yang diambil yaitu hanya sebesar 3,13 m/s.
5. Dengan rata – rata kecepatan angin yang ada, maka daya spesifik yang dihasilkan adalah $18,39 \text{ Watt/m}^2$, dengan masa udara rata – rata 324,53 kg/s dan energi kinetik yang dihasilkan sebesar 1589,7 Joule. Maka daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin yang diasumsikan berkapasitas 10 kW sebesar 1627,26 Watt.

6. Untuk mensuplai beban penerangan total pada kapal dari hasil perhitungan maka dibutuhkan 4 unit turbin dengan kapasitas 10kW, dengan simulasi aplikasi HOMER total biaya awal yang dibutuhkan adalah Rp. 190.144.300 dengan biaya operasi per kWh nya adalah sebesar Rp. 1.951,58.

5.2 Saran

1. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menggunakan jenis software yang berbeda agar mendapatkan perbandingan dan hasil yang lebih akurat.
2. Diharapkan dalam penelitian yang serupa menggunakan jenis energi baru terbarukan yang berbeda sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Organisasi Maritim Internasional (IMO). (2014). Kajian Gas Rumah Kaca Ketiga.
- [2] Organisasi Maritim Internasional (IMO). (2018). MEPC304(72).
- [3] IMO MEPC.1/Circ.815. (2013). Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI
- [4] Faizal Zul Ardhi. 2011. “Rancang Bangun Charge Controller Pembangkit Listrik Tenaga Surya”. Universitas Indonesia
- [5] Aditya putranto, 2012. “Rancang Bangun Turbin Angin Untuk Penerangan Rumah Tangga”. Universitas Dipenogoro
- [6] Daryanto, Y., 2007. “Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu”. Balai PPTAGG - UPT-LAGG
- [7] Zuhail, 1988. “Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya”. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- [8] Hau, Eric. 2006. “Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, Economics”. Edisi 2. Springer: Berlin, Germany.
- [9] Wiranto Arismunandar, 2004, “Pengaruh Sudut Pengarah Aliran Jumlah Sudu Radius Berengsel Luar Roda Tunggal Terhadap Kinerja Turbin Kinetik”.Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 5 No. 2, pp 149-156
- [10] Hong SJ, Chung YH, Kim JW, Chun DP. Analisis tingkat kontribusi terhadap target pengurangan gas rumah kaca nasional pada sektor transportasi Korea menggunakan model LEAP. Perbarui Sustain Energy Rev 2016;60:549–59.

- [11] Ilhamdfabilo. 2012. “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Kecil 100Va”. Proyek Akhir. Universitas Pendidikan Indonesia.
- [12] Setiono, Puji. 2006. “Pemanfaatan Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin”. Universitas Negeri Malang
- [13] Berahim, Hamzah. 1991. “Pengantar Teknik Tenaga Listrik” . Andioffset, Yogyakarta
- [14] Rehmatulla, N., Parker, S., Smith, T., & Stulgis, V. (2017). Wind technologies: Opportunities and barriers to a low carbon shipping industry
- [15] S. Brynolf , Environmental assessment of present and future marine fuels (2014)
- [16] Loyd's Register. A review of the commercial, regulatory and technical factors affecting uptake of wind-assisted ship propulsion.
- [17] Nelissen D, Traut M, Köhler J, Mao W, Faber J, Ahdour S. Study on the analysis of market potentials and market barriers for wind propulsion technologies for ships.
- [18] K. Kaygusuz Global energy issues, climate change and wind power for clean and sustainable energy development
- [19] Lele A, Rao K. Flettner rotor for ship propulsion: Progress and current status; 2017.
- [20] G. Atkinson et al (2015). Considerations regarding the use of rigid sails on modern powered ships
- [21] Cogent Eng (2018) De Marco et al. Flettner rotor concept for marine applications: a systematic study
- [22] Talluri L, Nalianda DK, Giuliani E. (2016) Techno economic and

environmental assessment of flettner rotors for marine propulsion

- [23] Bordogna, G., Muggiasca, S., Giappino, S., Belloli, M., Keuning, J. A., & Huijsmans, R. H. M. (2020). The effects of aerodynamic interaction on the performance of two flettner rotors.
- [24] Traut, M., Gilbert, P., Walsh, C., Bows, A., Filippone, A., Stansby, P., & Wood, R. (2014). Propulsive power contribution of a kite and flettner rotor on selected shipping routes.
- [25] NYK. World's first solar-power-assisted vessel further developed; 2011.
- [26] A.C. Koberle *et al.* Assessing current and future techno-economic potential of concentrated solar power and photovoltaic electricity generation Energy (2015)
- [27] S. Mekhilef *et al.* A review on solar energy use in industries Renew Sustain Energy Rev (2011)
- [28] D. Ariwibowo, Didik. Wiryadinata, Romi. Alexander, “*Care And Maintenance System Generator Transformer 20kv-150kv,*” *Rekayasa Dan Teknol. Elektro*, Vol. 8, No. 1, Pp. 31–36, 2014, [Online].
- [29] M. P. Tampubolon, *Manajemen Operasional (Operations Management)*. Makassar: Ghalia Indonesia, 2004.
- [30] Dkk Hersalniar. Firdaus. Hanwar, Oong, “*Analisis Troubleshooting Pada Engine G3408 Generator Set Caterpillar,*” *Teknol. Manufaktur*, Vol. 12 No. 02, Pp. 121–127, 2020, [Online].
- [31] R. K. Wibisana, “*Analisis Penyebab Kerusakan Journal Bearing Terhadap Kelancaran Operasional Diesel Generator No.2 Di Mv. Hijau Segar,*”

Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, 2020.

- [32] Traut Michael, et al, [2014], “Propulsive Power Contribution of a Kite and a Flettner Rotor on Selected Shipping Routes”, University of Manchester, United Kingdom.
- [33] Seifert Jost, [2012], “A Review of The Magnus Effect in Aeronautics”, Germany.
- [34] Ali Seyed, et al, [2016], “Aerodynamic Performance of a Circulating Airfoil Section for Magnus Systems via Numerical Simulation and Flow Visualization”, Isfahan University of Technology, Iran.
- [35] Penna Ondra, [2015], “Analisa Aplikasi Flettner Rotor Pada Offshore Support Vessel Panjang 56 Meter Dengan Metode CFD”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [36] Fandy Bestario, [2015], “Analisa Aplikasi Turbin Kobold Blade Kembar Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Dalam Di Bangunan Lepas Pantai”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [37] Ahmad Sedagat, et al, [2015], “Computational Study on Novel Circulating Aerofoils for Use in Magnus Wind Turbine Blades”, Isfahan University of Technology, Islamic Republic of Iran.
- [38] Tim Craft, et al, [2013], “Back to The Future? A Re-examination of The aerodynamics of Flettner-Thom Rotors for Maritime Propulsion”
- [39] T. J. Craft, et al, “Dynamic Performance of Flettner Rotors with and Without Thom Discs”, University of Manchester, Manchester, United Kingdom.

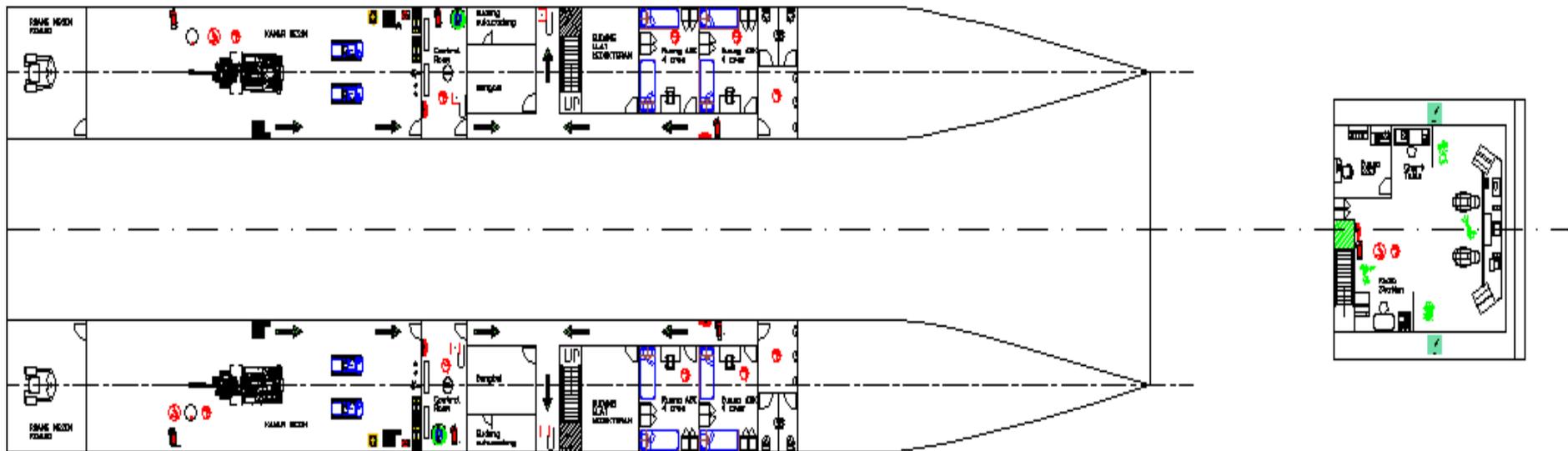
- [40] Besikci EB, Arslan O, Turan O, Olcer AI. Berbasis jaringan syaraf tiruan sistem pendukung keputusan untuk operasi kapal hemat energi. *Hitung Oper Res* 2016;66:393–401.
- [41] Perera LP, Mo B. Pengukuran efisiensi energi berbasis kontrol emisi di kapal operasi. *Appl Ocean Res* 2016;60:29–46.
- [42] Roskilly AP, Palacin R, Yan J. Editorial. Teknologi dan strategi baru untuk sistem transportasi baru. *Appl Energy* 2015;157:563–6.
- [43] Opsi penggerak kapal masa depan Parker J.: menjelajahi metode alternatif propulsi kapal. London, Inggris: Royal Academy of Engineering; 2013.
- [44] Wen SL, Lan H, Hong YY, Yu DC, Zhang LJ, Cheng P. Alokasi ESS dengan metode optimalisasi interval mempertimbangkan dampak ayunan kapal pada sistem tenaga kapal hybrid PV/ diesel. *Appl Energy* 2016;175:158–67.
- [45] Hossain MS, Madloul NA, Rahim NA, Sevaraj J, Pandey AK, Khan AF. Peran smart grid dalam energi terbarukan: gambaran umum. *Perbarui Sustain Energy Rev* 2016; 60:1168–84.
- [46] Wu G, Zeng M, Peng LL, Liu XM, Li B, Duan JH. Pengembangan energi baru China: status, kendala dan reformasi. *Perbarui Sustain Energy Rev* 2016;53:885–96.
- [47] Mehmet FO, Ibrahim D, Marc AR, Mehmet K. Opsi produksi hidrogen terintegrasi berdasarkan sumber energi terbarukan dan nuklir. *Perbarui Sustain Energy Rev* 2012;16:6059–82.

- [48] Noam L. Sumber daya dan penggunaan energi: situasi saat ini dan kemungkinan jalan ke masa depan. *Energi* 2008;33:842–57.
- [49] Wang Y, Chen KS, Mishler J, Cho SC, Adroher XC. Tinjauan sel bahan bakar membran elektrolit polimer: teknologi, aplikasi, dan kebutuhan pada penelitian mendasar. *Appl Energy* 2011;88:981–1007.
- [50] Biert VL, Godjevac M, Visser K, Aravind PV. Tinjauan sistem sel bahan bakar untuk aplikasi maritim. *Sumber Daya J* 2016;327:345–64.

LAMPIRAN

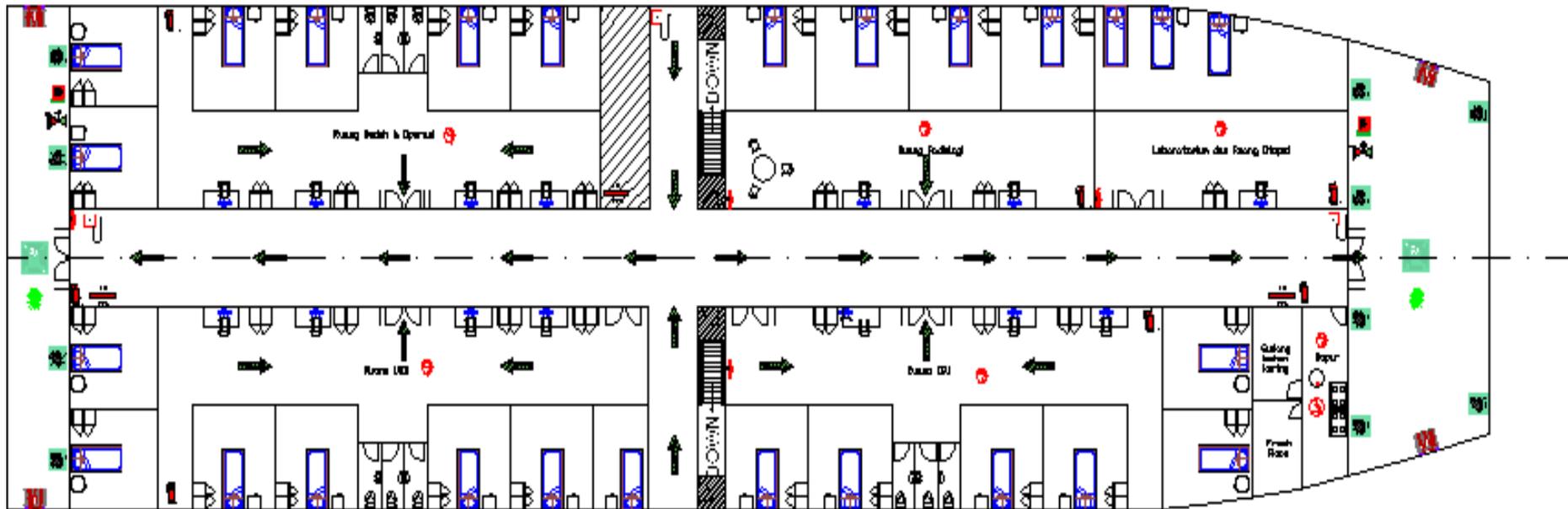
Second Deck

Navigation Deck



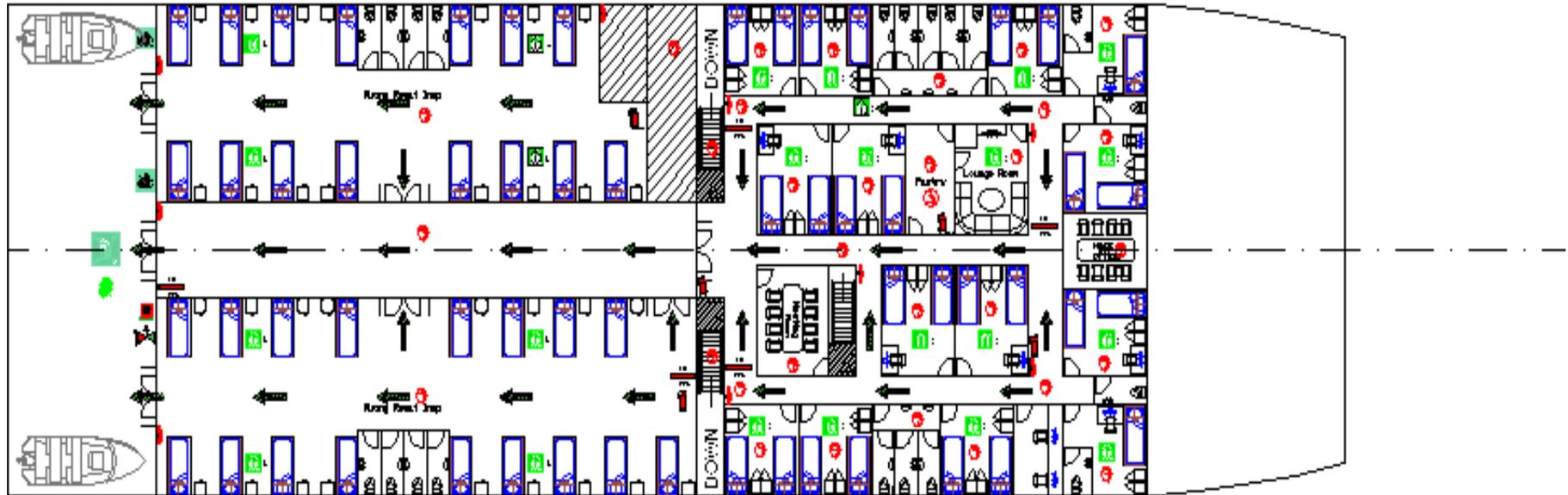
Lampiran 1 Second Deck Kapal

Main Deck

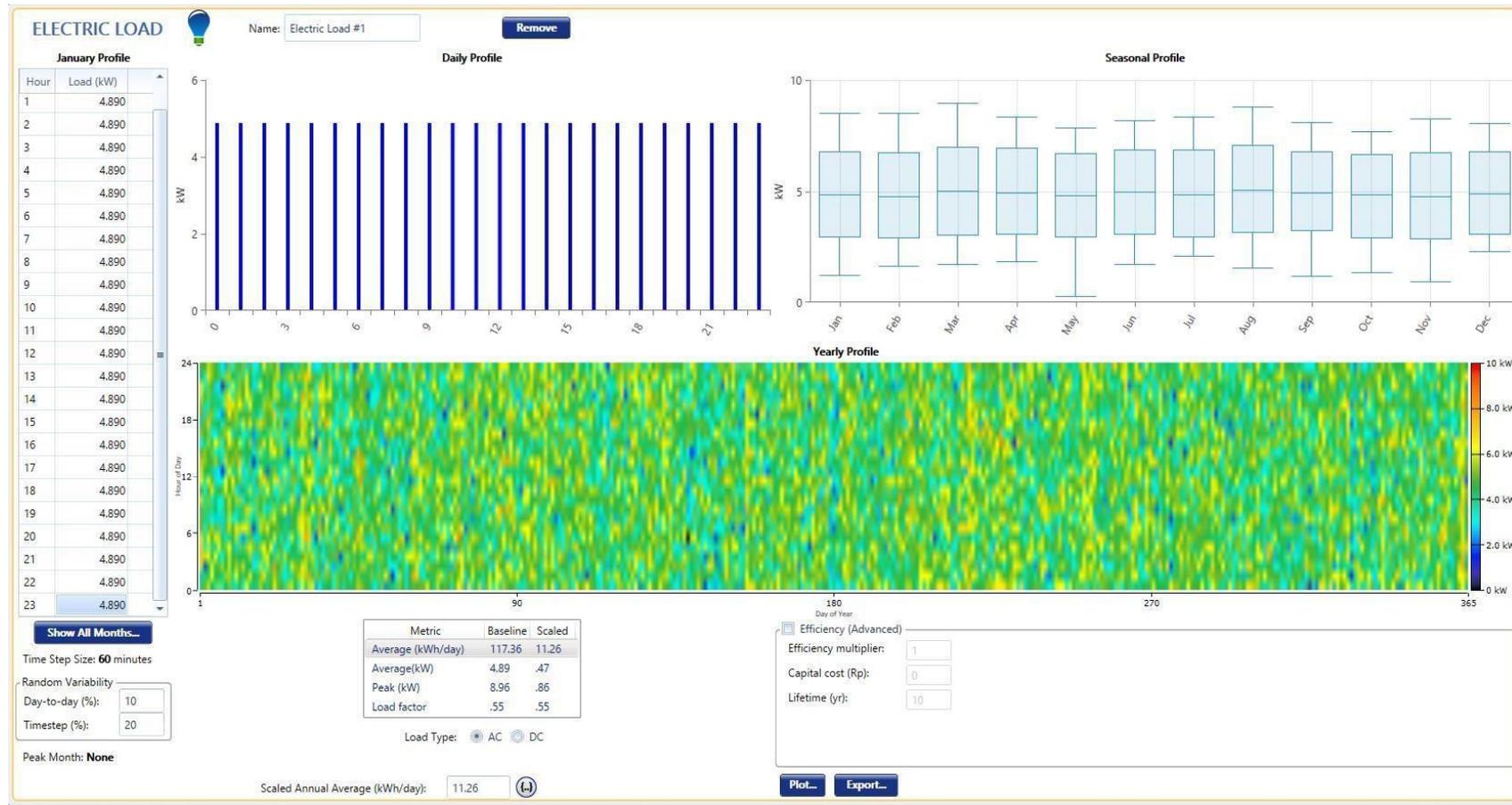


Lampiran 2 Main Deck Kapal

Upper Deck



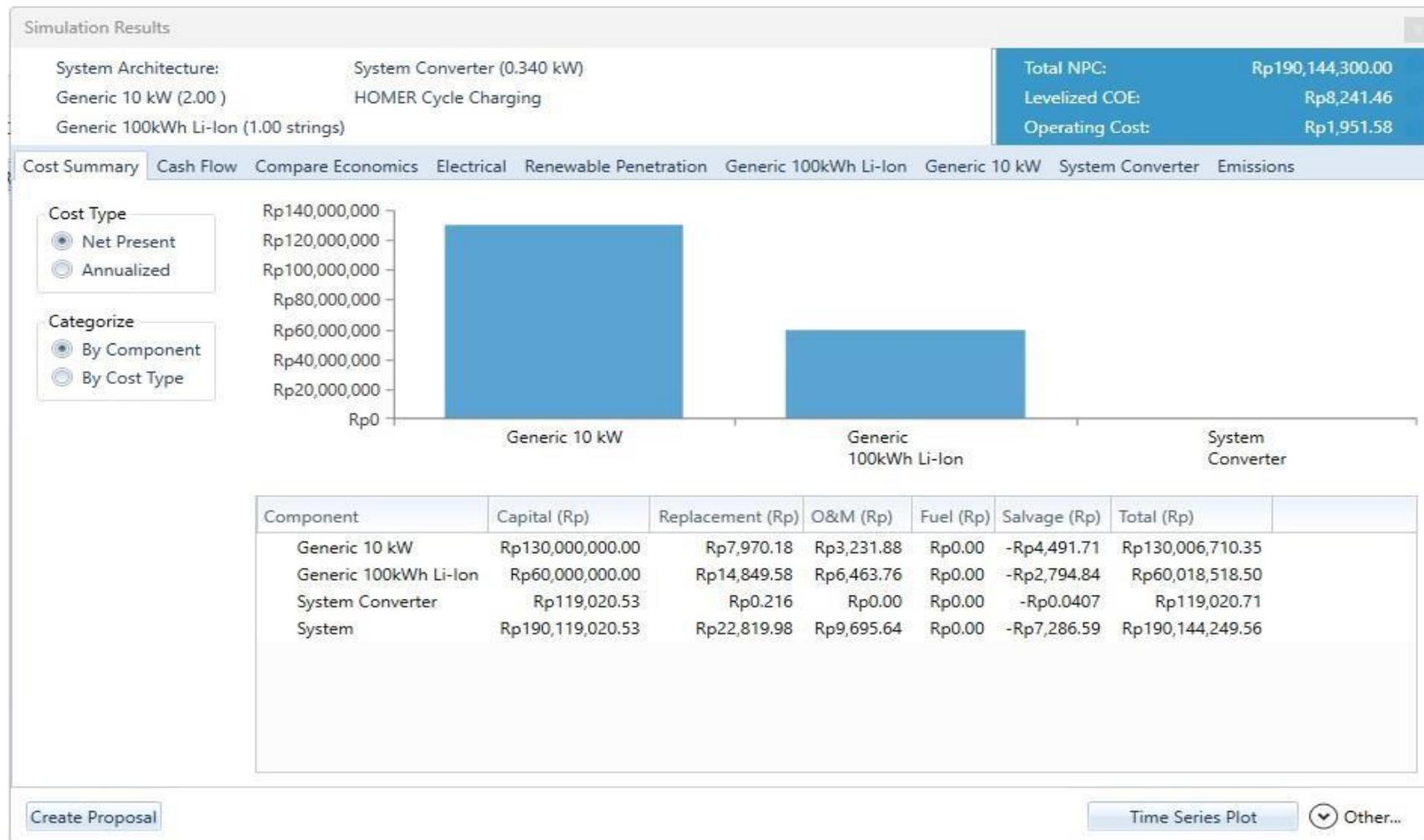
Lampiran 3 Upper Deck Kapal



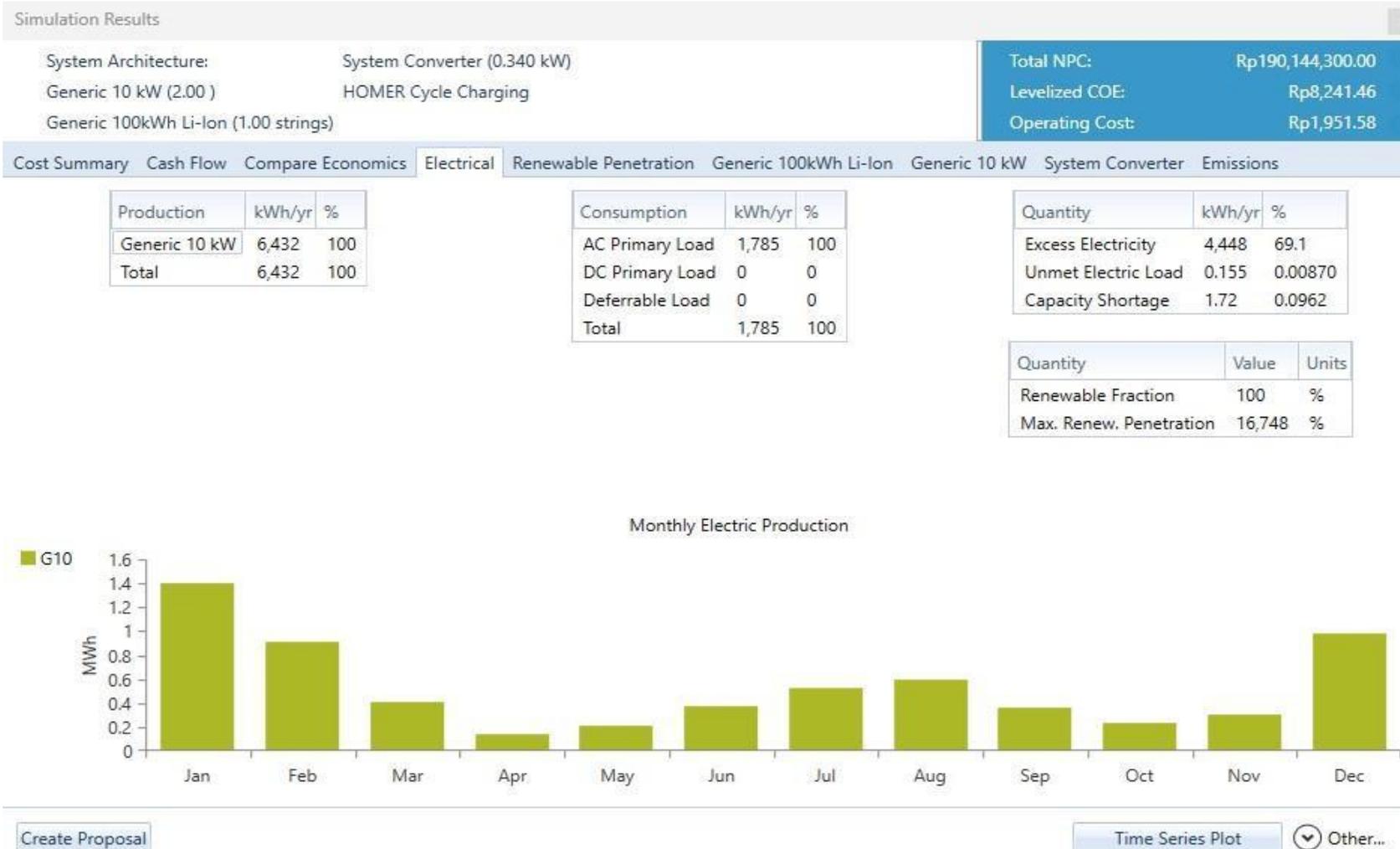
Lampiran 4 Input beban pada HOMER



Lampiran 5 input kecepatan angin pada rute kapal 3.13 m/s Homer



Lampiran 6 hasil simulasi HOMER



Lampiran 7 Electrical Homer

Simulation Results

System Architecture: System Converter (0.340 kW)
 Generic 10 kW (2.00) HOMER Cycle Charging
 Generic 100kWh Li-Ion (1.00 strings)

Total NPC: Rp190,144,300.00
 Levelized COE: Rp8,241.46
 Operating Cost: Rp1,951.58

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Renewable Penetration Generic 100kWh Li-Ion Generic 10 kW System Converter Emissions

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	20.0	kW
Mean Output	0.734	kW
Capacity Factor	3.67	%
Total Production	6,432	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	20.0	kW
Wind Penetration	360	%
Hours of Operation	4,886	hrs/yr
Levelized Cost	1,564	Rp/kWh

Wind Turbine Power Output

Hour of Day

Day of Year

Create Proposal Time Series Plot Other...

Lampiran 8 Wind Penetration Homer