

# **TUGAS AKHIR**

## **SIMULASI DAN ANALISA SISTEM *OFFSHORE HYBRID* POWER PLANT BERBASIS ENERGI ANGIN LEPAS PANTAI DAN ARUS PASANG SURUT AIR LAUT**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**RAHMAT BURMANJAYA**  
**1707220086**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

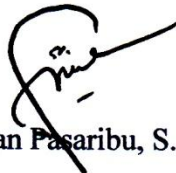
Nama : Rahmat Burmanjaya  
NPM : 1707220086  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Simulasi dan Analisa Sistem *Offshore Hybrid Power Plant*  
Berbasis Energi Angin Lepas Pantai Dan Arus Pasang Surut  
Air Laut  
Bidang Ilmu : Energi Baru Terbarukan (EBT)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 April 2022

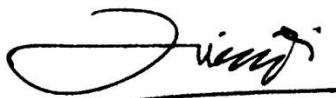
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing




Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I / Penguji



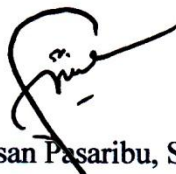
Ir. Yusniati, M.T

Dosen Pembanding II / Penguji



Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rahmat Burmanjaya  
Tempat /Tanggal Lahir : Rengat / 5 Maret 1997  
NPM : 1707220086  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Simulasi dan analisa sistem offshore hybrid power plant berbasis energi angin lepas pantai dan arus pasang surut air laut”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 April 2022

Saya yang menyatakan,



Rahmat Burmanjaya

## ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah daerah perairan dengan berbagai potensi energi yang ada di lautan, namun potensi energi di lautan yang masih belum dimanfaatkan dengan optimal. Beberapa energi yang sangat potensial di lautan diantaranya energi angin, energi surya, energi gelombang dan arus laut. Dalam penelitian ini dilakukan analisa dari hasil simulasi sebuah sistem pembangkit *hybrid* menggunakan *software* HOMER dengan sumber energi angin lepas pantai dan arus air laut, bertujuan untuk memaksimalkan potensi lautan guna mencapai efisiensi energi listrik sebaik mungkin. Data penelitian ini diambil di daerah *offshore* Aceh Besar di koordinat 5°31'32.8"LU 95°07'10.7"BT. Daerah ini mempunyai kecepatan rata-rata maksimal angin sebesar 4,9 m/s dan kecepatan rata-rata arus laut sebesar 0,37 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pembangkit *hybrid* mampu menghasilkan energi listrik 5.437.333 kWh pertahun dengan konfigurasi 5 turbin angin dan 10 turbin hidrokinetik. Kecepatan arus laut yang masih terlalu rendah membuat sistem pembangkit listrik ini belum terlalu optimal, turbin hidrokinetik hanya menghasilkan 17,6 % dari total produksi listrik, ini mengakibatkan tingginya harga *cost of energy* pembangkit yaitu sebesar Rp. 3.969 /kWh, dan jika dibandingkan dengan tarif dasar listrik PLN yaitu Rp.1.325 /kWh harga jual listrik dari sistem pembangkit ini masih terlalu mahal dan belum efisien.

Kata kunci : *offshore*, *hybrid*, turbin, efisiensi, potensi

## ABSTRACT

*Indonesia is an archipelagic country where most of its territory is waters with various energy potentials in the oceans, but the energy potential in the oceans is still not utilized optimally. Some of the potential energy in the oceans include wind energy, solar energy, wave energy and ocean currents. In this study, an analysis of the simulation results of a hybrid power plant system using the HOMER software was carried out with offshore wind energy sources and sea currents. This research was conducted offshore Aceh Besar at coordinates 5°31'32.8"N 95°07'10.7"E. This area has a maximum average wind speed of 4.9 m/s and an average sea current speed of 0.37 m/s. The simulation results show that the hybrid generator is capable of producing 5,437,333 kWh of electrical energy per year with a configuration of 5 wind turbines and 10 hydrokinetic turbines. The speed of ocean currents which is still too low makes this power generation system not optimal, the hydrokinetic turbine only produces 17.6% of the total electricity production, this results in a high cost of energy generation, which is Rp. 3,969 /kWh, and when compared to the basic electricity rates of PLN, which is Rp.1,325 /kWh, the selling price of electricity from the power plant system is still too expensive and inefficient.*

*Keyword : offshore, hybrid, turbine, efficiency, potency*

## 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 yang berjudul “Simulasi dan analisa sistem *offshore hybrid power plant* berbasis energi angin lepas pantai dan arus pasang surut air laut” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, 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. Bapak **Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak **Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.** selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Ir. Yusniati, MT.** selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu **Elvy Sahnur Nasution, ST, M.Pd.** selaku Sekretaris Prodi dan Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Nasrun Pohan dan Eli Harena Harahap, yang telah bersusah payah mendidik, membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teman-teman seperjuangan yang saling mendukung dan saling memotivasi

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia pendidikan dan teknologi khususnya Teknik Elektro.

Medan, 10 Januari 2022

Rahmat Burmanjaya

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Ruang lingkup .....	2
1.4    Tujuan Penelitian.....	3
1.5    Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 .....	4
TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1    Tinjauan Pustaka Relevan .....	4
2.2    Energi Angin .....	5
2.2.1    Asal energi angin.....	6
2.2.2    Potensi Energi Angin .....	6
2.2.3    Lokasi Pemanfaatan Energi Angin.....	7
2.2.4    Konversi Energi Angin .....	7
2.3    Energi dari laut .....	8
2.3.1    Energi Gelombang Laut .....	9
2.3.2    Energi Pasang Surut .....	10
2.4    Pembangkit listrik tenaga bayu/ angin (PLTB).....	12
2.4.1    Prinsip Kerja PLTB.....	12
2.4.2    Konfigurasi PLTB .....	13
2.4.3    Konversi PLTB .....	17
2.4.4    Klasifikasi turbin angin .....	18
2.4.5    Turbin Angin Lepas Pantai .....	19
2.5    Pembangkit Listrik Energi Pasang Surut.....	19
2.5.1    Dam Pasang Surut ( <i>Barrage Tidal System</i> ) .....	20



2.5.2	Turbin Lepas Pantai ( <i>Offshore Turbines</i> ) .....	21
2.6	<i>Hybrid Optimization Model for Energy Renewable (HOMER)</i> .....	23
2.6.1	Prinsip Kerja HOMER .....	25
2.6.2	Data dan Desain .....	25
2.6.3	Simulasi, Optimasi dan Analisis Sensitivitas.....	25
2.6.4	Pemodelan fisik menggunakan HOMER .....	27
2.6.5	Beban.....	27
2.6.6	Sumber Energi Sistem Pembangkit .....	28
2.6.7	Komponen-Komponen Utama Sistem Pembangkit .....	30
2.6.8	Simulasi dan analisa elektrik .....	30
BAB 3	.....	33
METODE PENELITIAN	.....	33
3.1	Tempat dan waktu .....	33
3.1.1	Tempat.....	33
3.1.2	Waktu .....	33
3.2	Bahan dan Alat .....	34
3.3	Metode Penelitian.....	35
3.4	Prosedur Penelitian.....	37
BAB 4	.....	38
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	38
4.1	Analisa Sistem PLTB Offshore.....	38
4.1.1	Data energi angin .....	38
4.1.2	Pemilihan Turbin Angin.....	39
4.1.3	Potensi Energi Listrik.....	41
4.2	Analisa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut .....	43
4.2.1	Data Kecepatan Arus Laut .....	43
4.2.2	Turbin hidrokinetik .....	43
4.2.3	Potensi energi yang dapat dibangkitkan.....	45
4.3	Simulasi HOMER.....	45
4.3.1	Profil beban .....	46
4.3.2	Optimasi .....	47
4.3.3	Rata-rata Produksi Listrik .....	48

4.3.4	Effisiensi Finansial.....	49
BAB 5	.....	52
KESEIMPULAN DAN SARAN	.....	52
5.1	Keseimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	.....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Osilasi kolam air.....	9
Gambar 2. 2 Aquacardoura.....	10
Gambar 2. 3 Bendungan pasang surut .....	11
Gambar 2. 4 Turbin angin sumbu vertikal .....	14
Gambar 2. 5 Turbin angin sumbu horizontal .....	16
Gambar 2. 6 Dam pasang surut .....	20
Gambar 2. 7 Turbin pasang surut.....	22
Gambar 2. 8 Tampilan awal <i>software</i> HOMER.....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	36
Gambar 4. 1 grafik perbandingan energi listrik dan angin sepanjang tahun.....	42
Gambar 4. 2 Produksi energi listrik turbin gamesa G52 850 berdasarkan.....	41
Gambar 4. 3 Plot kecepatan arus laut.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 4. 4 Produksi energi listrik turbin schottel 54 KW t.....	44
Gambar 4. 5 Skema pembangkit <i>hybrida</i> .....	46
Gambar 4. 6 Profil beban harian .....	47
Gambar 4. 7 Profil beban bulan .....	47
Gambar 4. 8 Rata-rata produksi listrik pertahun.....	49
Gambar 4. 9 Produksi energi listrik berdasarkan kecepatan angin dan arus.....	49
Gambar 4. 10 Biaya capital cost sistem pembangkit .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Turbin angin berdasarkan kapasitas .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan penelitian .....	34
Tabel 4. 1 Data kecepatan angin .....	38
Tabel 4. 2 Potensi produksi energi listrik pertahun.....	42
Tabel 4. 3 Data Kecepatan arus laut tahun 2015 - 2019 pada kedalaman 15 m ...	43
Tabel 4. 4 Spesifikasi Turbin Schottel 54 kW .....	44
Tabel 4. 5 Potensi energi listrik yang dibangkitkan.....	45
Tabel 4. 6 Parameter input HOMER.....	46
Tabel 4. 7 Perbandingan jumlah turbin angin dan turbin hidrokinetik .....	48
Tabel 4. 8 Produksi energi listrik per tahun .....	49

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi adalah kemampuan melakukan kerja. Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat.(Akbar et al., 2019). Selama ini kebutuhan energi masih mengandalkan minyak bumi sebagai penyangga utama kebutuhan energi. Namun pada kenyataannya minyak bumi semakin langka dan mahal harganya sehingga pencarian energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi tersebut terus dikembangkan.

Dengan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat, maka diperlukan waktu yang tidak sedikit untuk membangun suatu pembangkit tenaga listrik. Para perencana sistem juga harus dapat melihat kemungkinan-kemungkinan perkembangan sistem tenaga listrik di tahun-tahun yang akan datang. Maka dari itu diperlukan pengembangan industri listrik yang meliputi perencanaan pembangkitan, sistem kontrol dan proteksi, serta sistem transmisi dan distribusi listrik yang akan disalurkan hingga sampai pada konsumen. Pembangkit listrik yang dimiliki oleh PLN secara umum menggunakan energi yang termasuk tidak terbarukan, contoh: batubara, BBM. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat itulah, diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada (energi terbarukan). PLTMh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dan PLTPS (pembangkit listrik energi pasang surut) adalah pembangkit tenaga listrik dengan sumber energi terbarukan. Hal ini dilihat dari segi ekonomis dan keamanan. Karena saat ini cadangan energi fosil semakin berkurang sedangkan kebutuhan konsumsi bahan bakar minyak terus meningkat, hal ini berdampak pada krisis energi.(Akhir & Nugraheni, 2010)

Energi yang ada di lautan bisa menjadi pilihan yang baik untuk melengkapi kekurangan energi yang ada. Laut dan samudra melingkupi dua per tiga dari luas permukaan bumi dan tentunya dapat memproduksi energi dalam jumlah yang lebih besar untuk memenuhi kebutuhan energi.(Khulna-, 2015). Dengan semakin

majunya ilmu pengetahuan maka terciptalah peralatan modern yang dapat mengkonversi energi di lautan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan berbagai bentuk energi seperti gelombang laut, angin lepas pantai, energi pasang surut, energi matahari

Energi angin lepas pantai bukan sepenuhnya energi laut tetapi eksploitasi turbin angin di lingkungan laut mempunyai beberapa keunggulan yaitu angin di lautan lebih kuat dan lebih konstan dari pada angin yang ada di darat, sehingga tentunya dapat menghasilkan daya yang lebih besar, dan karena lautan memberikan ruang terbuka yang lebih luas maka turbin angin yang dapat dipasang juga memiliki kapasitas dan ukuran yang lebih besar.(Pierre et al., 2013)

Dalam mengkonversi energi dari arus laut turbin pasang surut memiliki prinsip kerja yang sama dengan turbin angin.(Jo et al., 2011) Dengan demikian maka teori dan pengalaman yang telah di dapat dari penggunaan turbin angin dapat diaplikasikan ke turbin pasang surut. Selain itu, baik turbin angin lepas pantai maupun turbin pasang surut keduanya terletak di lepas pantai sehingga memungkinkan untuk mewujudkan pembangkit listrik tenaga *hybrid* berbasis energi angin dan pasang surut air laut.

Berdasarkan pembahasan diatas maka pengembangan energi yang berbasis energi terbarukan lepas pantai sudah seharusnya di tingkatkan. Oleh karena itu dalam penelitian tugas akhir ini penulis akan melakukan analisa sistem *offshore hybrid power plant* berbasis energi angin dan pasang surut dengan menggunakan *software* HOMER sebagai alat untuk menganalisis sistem *hybrid*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari PLTH (angin-pasang surut).
2. Bagaimana efisiensi finansial pembangkit listrik tenaga *hybrid* (angin dan pasang-surut).

## **1.3 Ruang lingkup**

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut

1. Menganalisa potensi energi listrik pembangkit tenaga *hybrid* (angin dan pasang-surut) berdasarkan energy angin dan kecepatan arus yang tersedia menggunakan *software* HOMER.
2. Menganalisa efisiensi pembangkit listrik tenaga *hybrid* (angin dan pasang surut) dari finansial
3. Mensimulasikan sistem *hybrid* PLTH (angin dan pasang-surut) menggunakan *software* HOMER.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Untuk mengetahui potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari PLTH (angin dan pasang-surut).
2. Untuk mengetahui tingkat efisiensi PLTH (angin dan pasang-surut) dari segi finansial.
3. Mensimulasikan sistem pembangkit listrik *hybrid* pasang surut dan turbin angin lepas pantai untuk mencapai efisiensi listrik setinggi mungkin.

#### **1.5 Manfaat Penelitian.**

Adapun manfaat penelitian ini adalah.

1. Mengembangkan pengetahuan mengenai potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari energi terbarukan khususnya energi pasang surut dan angin lepas pantai.
2. Mengembangkan pengetahuan tentang energi baru terbarukan.
3. Sebagai bahan referensi bagi mahasiswa lain dalam penelitian yang sama.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh beberapa peneliti dibidang teknik elektro khususnya dibidang energi terbarukan yaitu

Menurut (Rahman & Shirai, 2009) dalam penelitian yang berjudul “*Hybrid Offshore-wind and Tidal Turbine (HOTT) Energy Conversion I (6-Pulse GTO Rectifier and Inverter)*” menyimpulkan bahwa Turbin angin lepas pantai dan pasang surut memiliki faktor ketersediaan bisa lebih dari 80% dengan angin dan faktor ketersediaan matahari sebesar 30-40%. Desain *hybrida* ini membuat sistem fleksibel, andal, tahan lama, dan mudah diukur. Desain inovatif memungkinkan pemasangan yang mudah dan pemeliharaan HOTT di lautan adalah mungkin secara logis dan akan mengarah pada pengurangan biaya listrik kepada pelanggan dan energi baru terbarukan.

Menurut (Pierre et al., 2013) dalam penelitian yang berjudul “*Concept development of real time emulators for offshore wind power ( OWP ) and tidal current power ( TCP ) hybrid system*” melakukan simulasi dengan menempatkan kedua turbin (angin dan tidal) pada satu tempat yang sama dengan pertimbangan memiliki keuntungan ekonomi karena hanya ada satu pondasi untuk kedua turbin. Dengan turbin angin menggunakan generator sinkron magnet permanen dan sistem pasang surut menggunakan generator asinkron *double fed*

Menurut (Fischer et al., 2015) dalam penelitian dengan judul “*Simulating Ocean and Tidal Current Power Plants with Homer*”, penggunaan HOMER dalam simulasi sitem pembangkit *hybrid* memungkinkan untuk menganalisa biaya modal awal, dan efisiensi yang diperlukan untuk mengkonversi energi listrik. Homer memiliki teknologi dan peralatan yang mendukung suatu sistim *hybrid* tertentu.

Dalam penelitian yang berjudul “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Laut Di Perairan Kabupaten Karimun Kepulauan Riau” oleh



(Elektro et al., 2016) menyimpulkan bahwa potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut selama 29 hari yang tertinggi pada hari ke 20 yaitu 4,2 m menghasilkan energi sebesar 108,3414 kWh. Dan yang terendahnya pada hari ke 2 yaitu 3,7 menghasilkan energi sebesar 84,08124 Kwh. Potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut dengan luasan danau 29,96 Ha rata-rata sebesar 46,910,6 Kwh pada tahun 2013. Potensi pembangkit listrik tenaga pasang surut dengan luasan danau 29,96 Ha didapat rata-rata sebesar 46,605,4 Kwh pada tahun 2014.

Menurut (Oseanografi et al., 2016) dalam penelitian yang berjudul “PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PASANG SURUT AIR LAUT DI KELURAHAN TUGUREJO KECAMATAN TUGU KOTA SEMARANG” membuat desain pembangkit listrik tenaga pasang surut menggunakan bendungan luas penampungan waduk 32.000 m<sup>2</sup> dengan potensi energi pasang surut di Kota Semarang yang beda ketinggian air laut antara pasang tertinggi 1,1 m Daya listrik maksimum persiklus pengisian waduk adalah 1,03 Kilo Watt.

Dalam penelitian (Nasab et al., 2020) dengan judul “*The potential for integration of wind and tidal power in New Zealand*” menjelaskan bahwa pelabuhan kaipara memiliki potensi yang baik untuk sistem pembangkit listrik hybrid (angin dan pasang surut) dengan energi utama dari angin dan energi tambahan dari pasang surut

## **2.2 Energi Angin**

Angin adalah udara yang bergerak atau berpindah yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan karena adanya perbedaan tekanan udara di suatu tempat. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah, atau dari suatu daerah bertemperatur rendah ke daerah yang memiliki temperatur tinggi. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.

### 2.2.1 Asal energi angin

Seperti yang kita ketahui, pada dasarnya angin terjadi karena adanya perbedaan Suhu antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu busur 0 °, yang merupakan area yang lebih panas dari matahari Dibandingkan dengan wilayah lain di planet ini

### 2.2.2 Potensi Energi Angin

Secara keseluruhan, potensi energi angin Indonesia rata-rata tidak besar, tetapi menurut survei dan pengukuran data angin yang dilakukan sejak 1979, banyak daerah yang menjanjikan karena kecepatan angin rata-rata tahunannya adalah 3,4-4,5 m/s atau energi antara 200 kWh/m sampai 1000 kWh/m. Potensi ini dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik skala kecil hingga 10 kW.

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat pada tabel berikut ini.

<b>Kelas</b>	<b>Kecepatan (m/s)</b>	<b>Kondisi alam</b>
1	0 – 0,02	Angin tidak ada
2	0.3 – 1,5	Angin tenang asap lurus keatas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Daun bergoyang pelan, penunjuk angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Ranting pohon bergoyang, debu berterbangan
6	8,0 – 10,7	Bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon bergoyang, air berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon
10	20,8 – 24,4	Dapat merobohkan rumah
11	24,5 – 28,4	Dapat menimbulkan kerusakan
12	28,5 - 32,6	Dapat menimbulkan kerusakan parah
13	≥ 32,7	Tornado

Tabel 2. 1 kelas kecepatan angin

Dari tabel 2.1 diatas ditunjukkan kelas-kelas kecepatan angin dan kondisi yang dapat dilihat disekitar saat angin berada pada kelas tertentu. Sebagai contoh pada kecepatan 0,3 sampai dengan 1,5 meter per detik, angin berada di kelas 3 dengan kondisi di sekitar dapat dilihat bahwa apabila ada asap, maka asap tersebut akan mengikuti arah angin berhembus. Adapun kelas kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan untuk turbin angin adalah pada kelas 3 sampai dengan kelas 8 (Habibie et al.,

2011). Hal ini karena umumnya kecepatan cut-in turbin komersil berada pada kelas 3. Adapun kecepatan angin diatas kelas 8 berbahaya dan dapat menimbulkan kerusakan bagi turbin.

### 2.2.3 Lokasi Pemanfaatan Energi Angin

Lokasi yang ideal untuk turbin angin adalah di daerah yang kecepatan anginnya relatif konstan, arahnya konstan, dan kecepatan anginnya sangat kecil kemungkinannya. Dari segi lokasi, pemanfaatan energi angin dibagi menjadi tiga jenis yaitu *onshore*, *offshore* dan *nearshore*.

Pemasangan turbin di darat ditetapkan pada jarak 3 kilometer atau lebih dari garis pantai, dan biasanya dipasang di daerah perbukitan untuk mendapatkan percepatan medan. Namun, lokasi yang tepat harus ditentukan dengan hati-hati karena dapat menyebabkan perbedaan kecepatan angin yang signifikan.

Instalasi turbin dekat pantai biasanya ditentukan di daerah pesisir dari 3 kilometer ke daratan hingga 10 kilometer lepas pantai. Karena perbedaan suhu laut dan darat, penggunaan lokasi ini mengutamakan keunggulan angin darat dan angin laut.

Ketika dipasang di laut lebih dari 10 kilometer dari pantai, itu disebut instalasi turbin lepas pantai. Keuntungan dari instalasi ini adalah hambatan geseknya lebih rendah dibandingkan di darat, sehingga kecepatan angin relatif tinggi. Selain itu, keberadaan turbin relatif tidak mencolok dibandingkan dengan instalasi berbasis darat. Namun pemasangan di laut tentu memiliki kekurangan, yaitu membutuhkan transmisi yang relatif lebih rumit dikarenakan faktor jarak dan harus melewati laut. Ketika turbin ini dipasang dalam jumlah besar, mereka sering disebut sebagai ladang angin (*wind farm*). Di ladang angin, perlu memperhatikan "efek ladang angin", yaitu turbin yang cenderung menghalangi turbin lain. Jarak antara turbin dalam instalasi umumnya adalah 3-5 kali diameter turbin.

### 2.2.4 Konversi Energi Angin

Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi menggunakan kincir angin. Energi mekanik yang dihasilkan oleh kincir angin dapat

dimanfaatkan secara langsung atau dikonversi menjadi energi listrik. Animasi menunjukkan pemanfaatan energi mekanik secara langsung terjadi sebagai berikut: Angin yang bergerak mengenai sayap kincir menyebabkan kincir berputar. Perputaran kincir tersebut menyebabkan terbentuknya energi mekanik, yang kemudian dapat menggerakkan pompa sehingga air naik ke atas dan di tampung ke dalam tangki.

Sedangkan konversi energi angin menjadi energi listrik (Animasi ) adalah sebagai berikut: Angin yang melalui sudu-sudu kincir menyebabkan kincir berputar. Putaran kincir menyebabkan generator ikut berputar. Di dalam generator energi angin diubah menjadi energi listrik. Untuk pembangkit tenaga listrik skala kecil, karena kecepatan angin senantiasa berubah-ubah, maka perlu adanya pengatur tegangan. Disamping itu perlu baterai untuk menyimpan energi, karena seiring terdapat kemungkinan dimana angin tidak bertiup. Bila angin tidak bertiup, generator tidak berfungsi sebagai motor, sehingga perlu sebuah pemutus otomatis untuk mencegah generator bekerja sebagai motor.

Perlu menjadi catatan bahwa apabila energi mekanik yang dihasilkan maka pada umumnya turbin angin disebut sebagai kincir angin, akan tetapi bila dikonversi menjadi listrik maka disebut sebagai turbin angin.

### **2.3 Energi dari laut**

Energi dari laut merupakan energi terbarukan yang memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan, menurut penelitian potensi energi dari laut mampu memenuhi empat kali kebutuhan energi dunia. Hal ini diperhitungkan berdasar dari luasnya lautan yang mencapai 70% dari luas permukaan bumi.

Pemanfaatan energi terbarukan dari laut di Indonesia telah dikembangkan melalui Instansi – instansi yang berperan dalam penelitian dan konversi energi dari laut seperti BPPT dan ASELI (Asosiasi Energi Laut Indonesia).

Pemanfaatan energi dari laut dibagi menjadi 3 macam, yaitu gelombang laut (ombak), pasang surut, dan panas laut. Gelombang laut adalah sumber energi yang besar namun karena keterbatasan studi dan teknologi, efisiensi konversi energi dari gelombang laut masih sangat kecil. Gelombang laut memanfaatkan energi kinetik pada permukaan gelombang laut atau dengan memanfaatkan gelombang

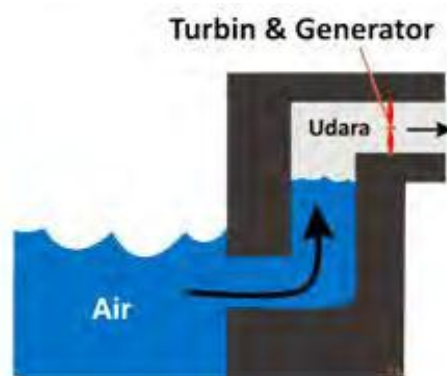
untuk menekan udara. Pada pasang surut, energi potensial akibat pergerakan air laut dimanfaatkan dengan metode yang sama dengan metode konversi pada hidroenergi, dan ada juga metode konversi pasang surut yang hampir mirip dengan konversi pada tenaga angin. Metode pemanfaatan panas laut yaitu dengan adanya perbedaan panas antara permukaan laut dan laut dalam, maka perbedaan panas tersebut akan menghasilkan uap dari fluida kerja yang akan memutar turbin.

### 2.3.1 Energi Gelombang Laut

Gelombang laut memiliki energi kinetik yang besar. Oleh karena itu, para peneliti berlomba untuk memanfaatkan energi dari gelombang laut. Ada banyak metode untuk mengkonversi energi gelombang laut, namun metode konversi energi gelombang laut yang populer hanya dua, yaitu :

#### 1. Osilasi Kolom Air

Metode osilasi kolom air adalah kebalikan dari metode yang digunakan pada kolam ombak buatan. Jika pada kolam ombak buatan, ombak dihasilkan dengan menghembuskan udara bertekanan pada permukaan air maka metode ini memanfaatkan gelombang untuk menekan udara yang telah ditempatkan dalam sebuah wadah. Generator akan ditempatkan di ujung pipa yang mengalirkan udara tersebut. Tekanan yang ditimbulkan oleh udara akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi listrik. Gambar 2.1 akan menunjukkan ilustrasi prinsip kerja osilasi kolom air.



Gambar 2. 1 Osilasi kolam air

## 2. Sistem Pelampung

Metode sistem pelampung adalah metode yang populer belakangan ini sebagai metode konversi gelombang laut. Metode ini memanfaatkan pergerakan naik turun gelombang laut dengan cara menempatkan sebuah piston atau pompa hidrolis di dalam sebuah peralatan yang mengapung di permukaan laut. Saat gelombang laut menghantam peralatan tersebut, maka piston yang berada di dalam peralatan tersebut akan bergerak naik turun sehingga menghasilkan energi listrik. Metode ini digunakan Portugal untuk mendapatkan energi gelombang laut. Alat konversi gelombang laut dari Portugal ini dinamakan Agucadoura. Agucadoura dapat menghasilkan daya listrik sebesar 2,25 MegaWatt. Peralatan ini terdiri dari tiga rangkaian konversi sepanjang 140 meter. Dari penelitian, jika Agucadoura ditempatkan sepanjang laut di seluruh dunia, maka daya listrik yang dapat dihasilkan mencapai 2 TeraWatt. Gambar 2.2 akan menunjukkan peralatan Agucadoura yang terpasang di Portugal.



Gambar 2.2 Agucadoura

### 2.3.2 Energi Pasang Surut

Konversi energi pasang surut memanfaatkan energi potensial yang tersimpan di dalam air laut akibat pergerakan air laut. Pergerakan pasang surut air laut akan menimbulkan arus pasang surut, arus pasang surut tersebut menyimpan energi kinetik yang dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin. Berbeda dengan gelombang laut, pasang surut dapat diramalkan sehingga energi pasang surut dinilai lebih efisien daripada

energi gelombang laut. Metode yang telah diterapkan untuk konversi energi pasang surut adalah :

a. Bendungan Pasang Surut

Metode ini sama dengan metode konversi hidroenergi. Dengan memanfaatkan bendungan, aliran air diarahkan untuk melewati penstock. Perbedaan ketinggian antara ketinggian permukaan air laut dengan ketinggian kolam bendungan akan menciptakan head net. Fenomena pasang surut dimanfaatkan untuk mengisi dan mengosongkan air pada kolam bendungan. Proses pengisian dan pengosongan pada kolam bendungan menandakan adanya aliran air yang terjadi antara laut dan kolam bendungan. Oleh karena itu, apabila di dalam penstock bendungan dipasang turbin maka aliran air tersebut dapat memutar turbin sehingga dapat menghasilkan listrik. Gambar 2.3 akan menunjukkan prinsip kerja konversi energi pasang surut menggunakan bendungan.



Gambar 2. 3 Bendungan pasang surut

contoh penerapan bendungan pasang surut adalah instalasi pembangkit listrik tenaga pasang surut di La Rance, Perancis. Belakangan ini, banyak proyek yang dikerjakan untuk mendapatkan energi pasang surut dengan metode bendungan pasang surut, seperti pembangunan pembangkit listrik tenaga pasang surut di Sihwa, Korea Selatan dan proyek Severn Barrage di Inggris.

b. Turbin Lepas Pantai

Metode lain untuk konversi energi pasang surut adalah penggunaan turbin lepas pantai. Metode ini sama dengan metode konversi energi angin. Arus laut akibat pergerakan pasang surut akan memutar turbin. Turbin lepas pantai dapat menghasilkan energi yang

lebih efisien daripada turbin angin, dikarenakan massa jenis air laut jauh lebih besar daripada massa jenis udara. Penggunaan turbin lepas pantai lebih murah daripada metode bendungan, karena tidak dibutuhkan konstruksi sipil seperti pada bendungan pasang surut.

Pada 2013, Siemens Energy memperkenalkan turbin pasang surutnya yang diberi nama SeaGen. Arah putaran turbin SeaGen dapat menyesuaikan dari arus yang melewatinya. Hal ini meningkatkan efisiensi turbin pasang surut mengingat arus pasang surut memiliki 2 arah berlawanan, arah ketika pasang dan arah ketika surut. Penemuan SeaGen akan berpengaruh besar pada pemanfaatan energi pasang surut.

## **2.4 Pembangkit listrik tenaga bayu/ angin (PLTB)**

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Pembangkit listrik tenaga bayu adalah salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik (Yasri, 2016). PLTB merupakan salah satu pembangkit yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia karena sumber angin tersedia melimpah, hal itu dikarenakan Indonesia adalah negara dengan garis pantai terpanjang ke-2 di dunia dengan panjang 54.716 km.

Secara sederhana PLTB mengkonversikan tenaga angin menjadi energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin, yaitu dengan memanfaatkan putaran turbin yang disebabkan oleh angin diteruskan ke rotor generator dimana generator ini memiliki lilitan tembaga yang berfungsi sebagai stator sehingga terjadinya Gaya Gerak Listrik (GGL). Listrik yang dihasilkan dapat disimpan ke baterai atau dimanfaatkan langsung ke beban.

### **2.4.1 Prinsip Kerja PLTB**

Pada dasarnya PLTB memanfaatkan angin untuk memutar rotor pada generator yang ada di belakang turbin angin. Generator inilah yang kemudian mengubah energi gerak dari rotor menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang



membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

#### 2.4.2 Konfigurasi PLTB

PLTB menggunakan turbin angin sebagai penggerak utama untuk menghasilkan listrik. Turbin angin berputar karena energi dari angin yang kemudian dimanfaatkan untuk mengekstrak energi kinetik angin menjadi energi listrik. Secara umum turbin angin dibagi menjadi dua, yakni menurut kapasitas terpasangnya dan menurut sumbu rotor.

a. Menurut kapasitas terpasangnya, turbin angin dibagi menjadi 3 yaitu

1) Skala kecil

Turbin angin skala kecil dibagi menjadi mikro dan mini yang masing memiliki luas sapuan turbin kurang dari  $3 \text{ m}^2$  untuk skala mikro dan 3 sampai  $12 \text{ m}^2$  untuk skala mini. Turbin skala ini mampu menghasilkan daya 50 W sampai 40 kW untuk satu turbin terpasang

2) Skala menengah

Turbin dengan skala menengah memiliki spesifikasi luas sapuan turbin antara 12 sampai  $45 \text{ m}^2$ . Turbin angin dengan ukuran ini mampu menghasilkan daya 40 kW sampai 999 kW per satu turbin terpasang

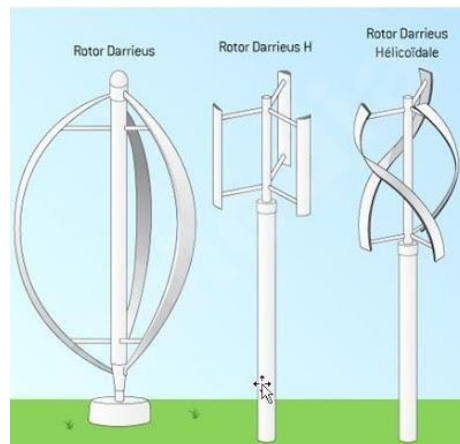
3) Skala besar

Turbin angin skala besar dengan luas sapuan turbin lebih dari  $46 \text{ m}^2$  mampu menghasilkan daya lebih dari 1 MW untuk setiap turbin terpasang

b. Menurut posisi sumbu rotor terbagi dua yaitu :

1) *Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT)*

Turbin angin vertikal memiliki shaft rotor vertikal. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tower tidak perlu support dan hal ini menyebabkan maintenance lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah menciptakan dorongan saat berputar. tiga yaitu golongan kecil, menengah dan besar. Sangat sulit untuk memasang turbin angin di tower, sehingga jenis tower ini biasanya di install dekat dengan permukaan. Kecepatan angin lebih lambat pada altitude yang rendah, sehingga energi angin yang tersedia lebih rendah.



Gambar 2. 4 Turbin angin sumbu vertikal

**Kelebihan Turbin Vertikal:**

- a. Tidak diperlukan mekanisme.
- b. Sebuah turbin angin bisa terletak dekat tanah, sehingga lebih mudah untuk menjaga bagian yang bergerak.
- c. turbin vertikal memiliki kecepatan startup angin rendah dibandingkan turbin horizontal

d. turbin vertikal dapat dibangun di lokasi di mana struktur yang tinggi dilarang.

Kekurangan Turbin Vertikal:

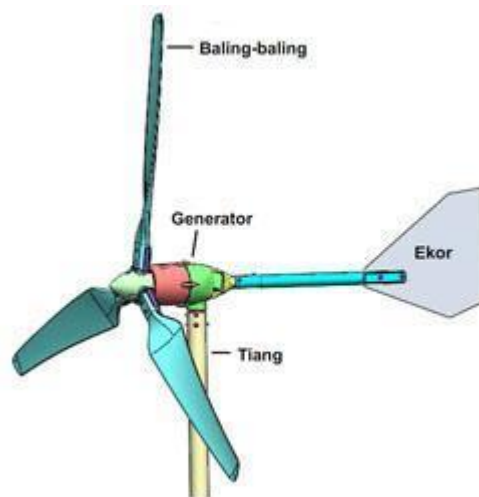
- e. Kebanyakan turbin vertikal memiliki penurunan efisiensi dibanding turbin horisontal, terutama karena hambatan tambahan yang mereka miliki sebagai pisau mereka memutar ke angin. Versi yang mengurangi drag menghasilkan lebih banyak energi, terutama yang menyalurkan angin ke daerah kolektor.
- f. Memiliki rotor terletak dekat dengan tanah di mana kecepatan angin lebih rendah dan tidak mengambil keuntungan dari kecepatan angin tinggi di atas.
- g. Karena tidak umum digunakan terutama karena kerugian serius yang disebutkan di atas, mereka muncul baru untuk mereka yang tidak akrab dengan industri angin. Hal ini sering membuat mereka subjek klaim liar dan penipuan investasi selama 50 tahun terakhir.

## 2) *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT).*

Turbin angin horizontal adalah model umum yang sering kita lihat pada turbin angin. Desainnya mirip dengan kincir angin, memiliki blade yang mirip propeller dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin horisontal memiliki *shaft* rotor dan generator pada puncak tower dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Turbin-turbin kecil mengarah ke angin dengan menggunakan *wind plane* yang diletakkan di rotor, sementara untuk turbin yang lebih besar dilengkapi dengan sensor yang terhubung dengan motor servo yang mengarahkan *blade* sesuai dengan arah angin. Sebagian besar turbin yang besar memiliki *gearbox* yang merubah kecepatan putar rotor yang ditransfer ke generator menjadi lebih cepat.

Karena tower menghasilkan turbulensi di belakangnya maka turbin biasanya mengarah ke arah angin dari depan. *Blade* turbin dibuat kaku untuk mencegah terdorong ke tower oleh angin yang kencang. Disamping itu, blade di tempatkan pada jarak yang

mencukupi didepan tower dan kadang melengkung kedepan. *Downwind turbine* atau turbin dengan arah angin dari belakang juga dibuat, meskipun adanya masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme yang mengharuskan searah dengan angin. Disamping itu dalam keadaan angin kencang blade dibolehkan untuk melengkung yang menurunkan area sapuan dan resistansi angin. Namun dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan fatigue, dan keandalan sangat dibutuhkan maka sebagian besar turbin angin *horizontal* menggunakan jenis *upwind*.



Gambar 2. 5 Turbin angin sumbu *horizontal*

#### Kelebihan Turbin Angin *Horizontal*

- a. Tawernya yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar. Pada beberapa area, setiap 10 meter ada kenaikan tambahan kekuatan angin 20% dan peningkatan daya 34%.
- b. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran. Sebaliknya pada turbin vertikal, melibatkan gaya timbal balik yang membutuhkan permukaan *airfoil* untuk mundur melawan angin sebagian bagian dari siklus. *Backtracking* melawan angin menyebabkan efisiensi lebih rendah.

#### Kekurangan Turbin Angin Horisontal

- a. Dibutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mensupport beban *blade*, *gear box* dan generator.
- b. Komponen-komponen dari turbin angin horizontal (*blade*, *gear box* dan generator) harus diangkat ke posisinya pada saat pemasangan.
- c. Karena tinggi, maka turbin ini bisa terlihat pada jarak yang jauh, banyak penduduk lokal yang menolak adanya pemandangan ini.
- d. Membutuhkan kontrol ya sebagai mekanisme untuk mengarahkan *blade* ke arah angin.
- e. Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman atau peralatan *yaw* pada angin yang kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakan.

#### 2.4.3 Konversi PLTB

Angin merupakan udara yang memiliki massa dan bergerak dengan suatu kecepatan. Dari pergerakan ini, angin memiliki energi yang sebanding dengan massa, serta kecepatan. Nilai potensi energi angin dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$E = 0.5 \cdot m \cdot V^2$$

Dimana:

E = energi massa potensial (joule)

M = massa udara (kg)

V = kecepatan angin (m/s).

Massa udara disini adalah massa yang terkandung dalam suatu volume udara, dan nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$m = \rho \cdot v$$

Dengan

$\rho$  = Massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  = Volume udara ( $\text{m}^3$ )

Volume udara terukur dapat ditentukan dari perkalian antara luas penampang lingkaran turbin dan panjang lintasan yang ditempuh udara dalam suatu waktu, dan nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = A \cdot x$$

Dengan :

$A$  = Luas penampang bidang pemutar turbin ( $m^2$ )

$X$  = Lintasan yang ditempuh angin dalam suatu waktu (m)

Dengan persamaan diatas dapat disubstitusi sehingga :

$$E = 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot x \cdot V^2$$

$$p = \frac{dE}{dt} = 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot x \cdot V^2 \frac{dx}{dt}$$

$$p = 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.4)$$

Dan daya spesifik dari angin per satuan luas bidang putar turbin, nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$P = \frac{p}{A} = 0.5 \rho \cdot V^3$$

Dengan.

$P$  = Daya spesifik angin ( $W/m^2$ )

$p$  = Tekanan udara (pascal =  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$   
=  $1 \text{ J/m}^3 = 1 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$ )

Angin bertiup melalui suatu turbin dan kemudian melepas sebagian energi kinetik kepada turbin tersebut, dan mengalami perhambatan. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin sebelum dan sesudah melewati turbin tidaklah sama.

#### 2.4.4 Klasifikasi turbin angin

Turbin angin dirancang untuk kondisi tertentu. Selama fase konstruksi dan desain, asumsi dibuat sesuai dengan iklim angin yang akan dihadapi oleh turbin angin. Kelas turbin angin merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan selama proses kompleks perencanaan pembangkit

listrik tenaga angin. Kelas angin menentukan turbin mana yang cocok untuk kondisi angin normal di lokasi tertentu

Klasifikasi angin yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin ditentukan oleh tiga parameter yaitu kecepatan angin rata-rata, kecepatan angin ekstrim dalam 50 tahun, dan turbulensi.(Ma et al., 2014). Berdasarkan parameter tersebut turbin angin di klasifikasikan menjadi 6 kelas seperti tabel dibawah ini

<b>Kelas turbin</b>	<b>Kecepatan angin rata-rata (m/s)</b>	<b>Kecepatan angin ekstrim (m/s)</b>	<b>Turbulensi (%)</b>
I a	10	70	18
I b	10	70	16
II a	8,5	59,5	18
II b	8,5	59,5	16
III a	7,5	52,5	18
III b	7,5	52,5	16
IV	6	42	

Tabel 2. 2 Klasifikasi turbin angin

#### 2.4.5 Turbin Angin Lepas Pantai

Turbin angin lepas pantai memiliki output energi yang tinggi per meter persegi karena letaknya di lepas pantai sehingga memungkinkan untuk menginstal turbin dengan skala gigawatt. Perkembangan teknologi turbin, pondasi, instalasi, intergrasi sistem telah memungkinkan untuk menginstal turbin ke perairan yang lebih dalam dan lebih jauh dari pantai untuk mengkonversi energi yang lebih besar.

selama 5 -10 tahun terakhir turbin angin lepas pantai telah berkembang menjadi teknologi paling canggih diantara energi terbarukan lepas pantai lainnya. (IRENA, 2021)

## 2.5 Pembangkit Listrik Energi Pasang Surut

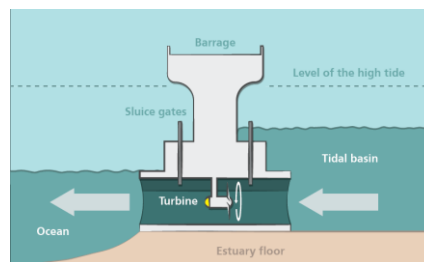
Pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang relatif besar. Dalam sehari bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut. Oleh karena waktu

siklus bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali), maka suplai listriknya pun lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak. Prinsip dasar pembangkit listrik pasang surut adalah dinamika pergerakan turbin yang dipasang secara teknis pada pertemuan muara sungai dan laut, pemanfaatan energi potensial dari pasang ke surut dan sebaliknya dipakai menggerakkan turbin tersebut (Sangari, 2014)

Pada dasarnya ada dua metodologi untuk memanfaatkan energi pasang surut, yaitu:

### 2.5.1 Dam Pasang Surut (*Barrage Tidal System*)

Prinsip Kerja Teknologi pasang surut dengan membangun dam merupakan teknologi yang paling lama digunakan. Ekstraksi energi didapat dari perbedaan ketinggian antara air di dalam dam dan diluar dam (laut). Dam yang dibangun untuk memanfaatkan siklus pasang surut jauh lebih besar daripada dam air sungai pada umumnya. Dam ini biasanya dibangun di muara sungai dimana terjadi pertemuan antara air sungai dengan air laut. Saat pasang air mengalir memasuki dam sampai kondisi tertentu lalu air tersebut ditahan, bila laut sudah surut air dialirkan kembali ke laut melewati turbin air sehingga energi listrik diperoleh.



Gambar 2. 6 Dam pasang surut

Persamaan untuk menghitung energi adalah :

$$E = H \cdot V$$

Dimana.

E = Energi yang dibangkitkan per siklus

H = Selisih tinggi permukaan antara pasang dan surut

V = Volume waduk



Persamaan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan adalah:

$$P = f \cdot Q \cdot H$$

Dimana:

P = Daya listrik (KW)

f = Faktor efisiensi ( 0,7 – 0,8 )

Q = Debit air (m<sup>3</sup>)

H = Tinggi pasang surut terbesar

Pembangkit listrik tenaga pasang surut (PLTPs) terbesar di dunia terdapat di muara sungai Rance di sebelah utara Perancis. Pembangkit listrik ini dibangun pada tahun 1966 dan berkapasitas 240 MW. PLTPs La Rance didesain dengan teknologi canggih dan beroperasi secara otomatis, sehingga hanya membutuhkan dua orang saja untuk pengoperasian pada akhir pekan dan malam hari. PLTPs terbesar kedua di dunia terletak di Annapolis, Nova Scotia, Kanada dengan kapasitas hanya 16 MW.

Dalam perkembangannya sistem dam ini berdampak pada lingkungan, walau berhasil menghasilkan energi listrik lumayan besar, namun ekologi air berbagai jenis satwa yang berhubungan antara muara dan laut tidak berkembang biak dengan baik.

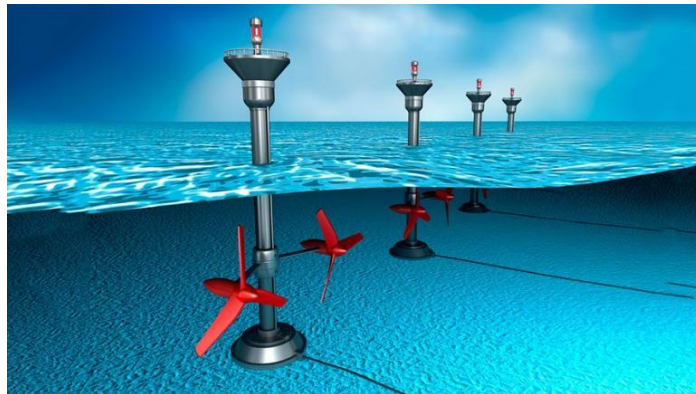
### 2.5.2 Turbin Lepas Pantai (*Offshore Turbines*)

Turbin lepas pantai ini lebih menyerupai pembangkit listrik tenaga angin versi bawah laut. Bentuk dari *tidal turbine* sangat beragam seperti halnya *wind turbine*. *Tidal turbine* terbesar dipasang Scotlandia berbobot 1300 ton dengan tinggi sekitar 22 m, dengan kecepatan aliran laut 2.65 m/s mampu menghasilkan daya sampai dengan 4000 Twh setiap tahun, diharapkan turbin ini mampu digunakan lebih dari 1000 rumah tangga.

Keunggulannya dibandingkan metode pertama yaitu: lebih murah biaya instalasinya, dampak lingkungan yang relatif lebih kecil daripada pembangunan dam, dan persyaratan lokasinya pun lebih mudah sehingga dapat dipasang di lebih banyak tempat. Sistem ini tidak memerlukan bendungan, namun langsung terpasang di lautan lepas, gaya dorong dihasilkan dari pergerakan energi kinetik arus laut dikarenakan densitas air

lebih tinggi dari pada angin, *offshore turbine* dapat menghasilkan energi yang lebih besar dengan ukuran yang sama.

Beberapa perusahaan yang mengembangkan teknologi turbin lepas pantai adalah: Blue Energy dari Kanada, *Swan Turbines* (ST), dan *Marine Current Turbines* (MCT) dari Inggris.



Gambar 2. 7 Turbin pasang surut

Teknologi MCT bekerja seperti pembangkit listrik tenaga angin yang ditenamkan di bawah laut. Dua buah baling dengan diameter 15-20 meter memutar rotor yang menggerakkan generator yang terhubung kepada sebuah kotak gir (*gearbox*). Kedua baling tersebut dipasangkan pada sebuah sayap yang membentang horizontal dari sebuah batang silinder yang diborkan ke dasar laut. Turbin tersebut akan mampu menghasilkan 750-1500 kW per unitnya (Hong et al., 2016), dan dapat disusun dalam barisan-barisan sehingga menjadi ladang pembangkit listrik. Demi menjaga agar ikan dan makhluk lainnya tidak terluka oleh alat ini, kecepatan rotor diatur antara 10-20 rpm (sebagai perbandingan saja, kecepatan baling-baling kapal laut bisa berkisar hingga sepuluh kalinya).

Dibandingkan dengan MCT dan jenis turbin lainnya, desain *Swan Turbines* memiliki beberapa perbedaan, yaitu: baling- balingnya langsung terhubung dengan generator listrik tanpa melalui kotak gir. Ini lebih efisien dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan teknis pada alat. Perbedaan kedua yaitu, daripada melakukan pemboran turbin ke dasar

laut menggunakan pemberat secara gravitasi (berupa balok beton) untuk menahan turbin tetap di dasar laut.

Adapun satu-satunya perbedaan mencolok dari Davis *Hydro Turbines* milik *Blue Energy* adalah poros baling-balingnya yang vertikal (*vertical-axis turbines*). Turbin ini juga dipasangkan di dasar laut menggunakan beton dan dapat disusun dalam satu baris bertumpuk membentuk pagar pasang surut (*tidal fence*) untuk mencukupi kebutuhan listrik dalam skala besar. Kelebihan dan Kekurangan Adapun kelebihan dan kekurangan dari *tidal energy* (energi pasang surut), diantara kelebihannya adalah:

- a. Setelah dibangun, energi pasang surut dapat diperoleh secara gratis.
- b. Tidak menghasilkan gas rumah kaca.
- c. Tidak membutuhkan bahan bakar
- d. Biaya operasi rendah
- e. Produksi listrik stabil
- f. Pasang surut air laut dapat diprediksi
- g. Turbin lepas pantai memiliki biaya instalasi rendah dan tidak menimbulkan dampak lingkungan yang besar

Sedangkan kekurangannya:

- a. Biaya pembangunan sangat mahal
- b. Meliputi area yang sangat luas sehingga merubah ekosistem lingkungan baik ke arah hulu maupun hilir hingga berkilo-kilometer
- c. Hanya dapat mensuplai energi kurang lebih 10 jam setiap harinya, ketika ombak bergerak masuk ataupun keluar.

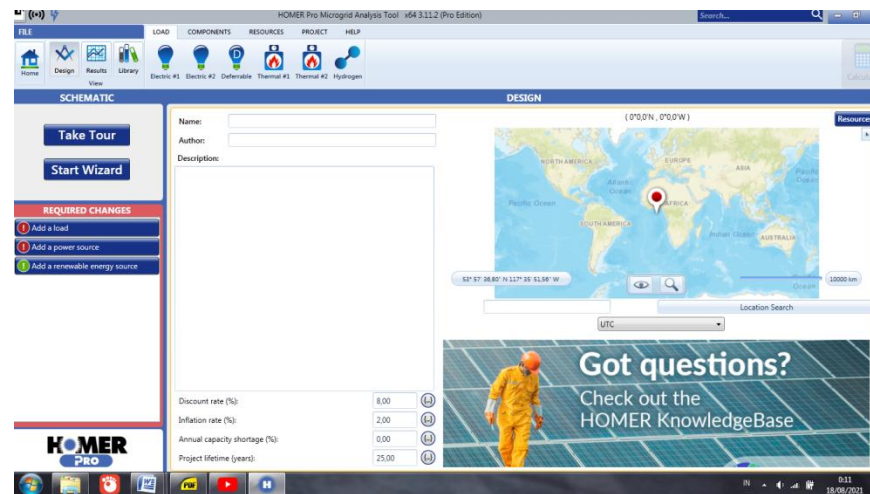
## **2.6 Hybrid Optimization Model for Energy Renewable (HOMER)**

Perangkat lunak HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (*micropower*), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke

jaringan ataupun tidak. (Sukmawidjaja et al., 2013). *Software* HOMER dikembangkan oleh U.S. *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

Sebelum menjalankan *software* HOMER pertimbangan yang harus dilakukan meliputi besarnya biaya, konfigurasi dari sistem, pemilihan komponen yang digunakan, jumlah dan ukuran kapasitas komponen serta sumber daya alam yang tersedia.

Dari rancangan yang telah dibuat, HOMER akan melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang layak untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. (Vendoti et al., 2021)



Gambar 2. 8 Tampilan awal *software* HOMER

Kelebihan *software* ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang atau *Net Present Cost* (NPC) terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus dan akurat. Sedangkan kekurangannya adalah perangkat lunak ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi NPC COE (*Cost Of Energy*), bukan model sistem terperinci dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa disimulasikan dengan *software* ini.

### 2.6.1 Prinsip Kerja HOMER

Secara umum, pembagian kerja HOMER mencakup dua: bagian yang pertama terkait dengan data dan desain, yang kedua terkait dengan data termasuk simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas.

Dua pembagian tersebut dilakukan secara berurutan dimulai dari menginput data-data yang dibutuhkan kemudian membuat desain sistem yang akan di rancang. Lalu melakukan simulasi pada *software* maka *software* kemudian akan menampilkan hasil dari simulasi tersebut seperti yang telah dijabarkan diatas.

### 2.6.2 Data dan Desain

Data merupakan hal penting yang harus diketahui agar sistem *software* mempunyai bahan yang akan diolah untuk kemudian di konversikan menjadi beberapa bentuk *output*. Adapun data yang harus di input yaitu data beban, data pembangkit, data ekonomi, data *constraints*, data system control, data emisi, data matahari, data sensitivitas matahari, data kecepatan angin, data *solar cell*, dan data baterai.

Sedangkan untuk desain, adalah merupakan rancangan letak dan urutan komponen-komponen dalam sebuah sistem pembangkit yang direncanakan. Perancangan ini harus dilakukan dengan benar sesuai dengan kondisi sebenarnya agar sistem dapat berjalan dan tidak terjadi kesalahan atau error.

### 2.6.3 Simulasi, Optimasi dan Analisis Sensitivitas

Simulasi merupakan tampilan dari konfigurasi dari komponen-komponen yang telah dirancang menjadi sebuah sistem. Konfigurasinya meliputi besarnya kapasitas komponen-komponen dalam sistem dan strategi operasi yang menentukan cara bekerjasamanya sistem tersebut dalam periode waktu tertentu. Proses simulasi mempunyai dua tujuan, yaitu untuk mengetahui apakah sistem tersebut dapat berjalan dan untuk mengetahui biaya keseluruhan dari sistem. Perangkat lunak ini akan mensimulasikan pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam

dalam satu tahun. Untuk setiap jam, HOMER membandingkan kebutuhan listrik ke sistem energi yang dapat memasok dalam jam tersebut, dan menghitung energi yang mengalir dari dan ke setiap komponen dari sistem. Untuk sistem yang mencakup baterai atau bahan bakar - *powered generator*, HOMER juga memutuskan jam operasi generator, apakah akan dikenakan biaya atau mengosongkan baterai. (Sukmawidjaja et al., 2013)

Optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan paling optimal dalam konfigurasi sistem. Setelah melakukan proses optimasi maka akan tampil urutan nilai NPC, sistem konfigurasi dan strategi pengisian baterai. Tujuan dari optimasi yaitu menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem yang variabel nilai masukannya dapat diubah sesuai kebutuhan. Adapun variabel yang dapat diubah yaitu :

- a. Kapasitas daya photovoltaic
- b. Jumlah turbin angin yang digunakan
- c. Kapasitas daya dari turbin air (satu turbin air)
- d. Kapasitas daya generator
- e. Kapasitas daya electrolizer
- f. Jumlah baterai yang digunakan
- g. Kapasitas daya konverter (AC-DC)
- h. Kapasitas daya tangki hydrogen
- i. Strategi pengisian baterai.

Analisis sensitivitas akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter input berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas. Contohnya harga listrik, harga bahan bakar, suku bunga dan lain-lain. Secara garis besar analisis sensitivitas dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Analisis sensitivitas dalam keadaan tidak menentu, adalah analisis sensitivitas yang dilakukan terhadap hal-hal yang sifatnya selalu berubah-ubah seiring perjalanan waktu dan kondisi. Misalnya harga komponen, kecepatan angin. Fungsi analisis sensitivitas ini yaitu

untuk menentukan efek dari variasi masukan, kemungkinan konfigurasi dan tingkat keoptimalan sistem apabila masukannya berubah-ubah.

- b. Analisis sensitivitas berdasarkan kumpulan data per jam, analisis sensitivitas ini dilakukan secara berkala dalam setiap satu jam. Adapun nilai yang dianalisis adalah beban listrik, sumber daya angin, sumber daya air atau biomassa. Analisis ini akan menampilkan hasil optimal tidaknya suatu konfigurasi berdasarkan warna dan menunjukkan sensitivitas dengan tanda *diamond*.

#### 2.6.4 Pemodelan fisik menggunakan HOMER

HOMER merupakan sebuah *software* perancangan sistem pembangkit listrik hybrid yang menggabungkan dua atau lebih sumber energi menjadi satu sistem pembangkit sesuai dengan namanya. Dalam perancangan sistem menggunakan HOMER penggunaan energi seperti beban listrik atau beban *thermal* (panas) harus ditentukan terlebih dahulu. *Software* ini juga dilengkapi dengan beberapa perlengkapan konversi listrik, seperti konversi AC-DC, konverter, baterai, dan *elektrolizer*

#### 2.6.5 Beban

Seperti yang sudah di singgung dalam penjelasan diatas, penentuan beban dalam *software* HOMER berdasarkan jenisnya dibagi menjadi dua, yaitu beban listrik dan beban *thermal* (panas). Sedangkan berdasarkan kebutuhan suplai energi beban dibagi menjadi beban utama (*primary load*) dan beban tunda (*defferable load*)

- a. Beban listrik merupakan beban yang berasal dari peralatan elektronik yang suplai dayanya berasal dari sistem pembangkit yang kebutuhan energinya berbeda antar peralatan tergantung pada waktu penggunaan
- b. Beban *thermal* (panas). Homer dapat digunakan untuk memodelkan beban panas seperti pemodelan beban listrik. Akan tetapi konsep penggunaan tenaga cadangan tidak diterapkan pada beban *thermal*. Beban ini perlu dianalisa dan diperhitungkan agar sistem pembangkit dapat berjalan dengan maksimal

- c. Beban utama (*primary load*) merupakan beban yang di *input* dalam satuan kilowatt untuk beberapa jam setiap tahunnya. Beban utama dimasukkan ke dalam HOMER dengan cara mengimpor file yang sudah ada atau dengan memasukkan data beban perjam ke dalam *daily load profile*. Hasilnya akan berbentuk grafik beban secara keseluruhan. HOMER juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda (AC-DC). Beban utama membutuhkan cadangan untuk mengantisipasi drop tegangan dan *overload*.
- d. Beban tunda (*defferable load*) merupakan beban yang ditentukan berdasarkan interval waktu penggunaan seperti pompa air, alat pengisian baterai, dan lainnya. Sama halnya seperti beban utama, beban yang dipilih dapat berupa beban AC atau DC, namun data yang dimasukkan merupakan data perbulan bukan data perjam.

#### 2.6.6 Sumber Energi Sistem Pembangkit

Dalam perancangan sistem pembangkit menggunakan HOMER diperlukan sumber energi terbarukan atau bahan bakar konvensional yang akan dijadikan sebagai sumber energi pembangkit *hybrid*.

Beberapa sumber energi yang ada di dalam *software* HOMER antara lain, energi matahari, energi angin, energi hidro, energi biomassa, dan bahan bakar minyak (*fuel*). Karena sebagian besar energi yang tersedia berasal dari alam, sehingga faktor alam sangat mempengaruhi hasil produksi energi dari sistem pembangkit.

- a. Energi matahari, tingkat intensitas penyinaran matahari sangat bergantung pada letak garis lintang dan bujur suatu wilayah. Dalam penggunaannya di *software* HOMER, data yang diinput merupakan data intensitas rata-rata radiasi matahari yang mengarah langsung ke permukaan bumi.
- b. Energi angin, merupakan sumber energi yang sangat dipengaruhi oleh letak geografis pembangkit serta sirkulasi atmosfer. Data yang diinput ke dalam *software* merupakan data kecepatan angin yang diambil di lokasi perencanaan pembangkit dalam rentang waktu 12 bulan terakhir.



Berikut beberapa parameter dalam menginput energi angin dalam HOMER :

- 1) *Weibull shape factor*, yang merupakan pengukuran distribusi dan kecepatan angin selama satu tahun
  - 2) *Autocorellation factor* adalah besar kecepatan angin yang diukur dalam waktu satu jam dan bergantung pada kecepatan angin satu jam sebelumnya
  - 3) *Diurnal patern strength* dan *hour of peak wind speed* merupakan parameter pengukuran angin yang mengindikasikan magnitude dan phase secara berurutan dari rata rata pola harian kecepatan angin
- c. Energi *hydro*, adalah sumber energi yang potensinya sangat di pengaruhi oleh pola curah hujan dan topografi. Data yang dibutuhkan merupakan data aliran sungai yang tersedia dalam satu tahun. Aliran sisa yang merupakan aliran minimum yang harus dilewatkan ke turbin, ini dilakukan agar HOMER dapat menentukan ketersediaan aliran sungai untuk turbin
- d. Biomassa, potensi energi ini dipengaruhi oleh produktivitas satu daerah dalam menghasilkan bahan yang mengandung biogass seperti, kotoran hewan, limbah pertanian, sisa atau limbah kayu, tumbuhan yang sudah tidak produktif dan lain sebagainya. Penggunaan biomassa pada pemodelan dengan HOMER dilakukan dengan dua cara yaitu:
- 1) Menentukan ketersediaan sumber daya alam yang ada dan menentukan konsumsi bahan bakar generator untuk menghasilkan energi listrik.
  - 2) Menggunakan input sumber daya biomassa untuk mengetahui ketersediaan biomassa selama satu tahun.
- e. Bahan Bakar (*fuel*)
- HOMER menyediakan berbagai macam jenis bahan bakar mulai dari biogas, diesel, ethanol, gasolune, methanol, propane, natural gas, dan store hidrogen. Sedangkan untur properti fisik bahan bakar terdiri dari *density*, *carbon content*, *lower heating value* dan *sulfur content*.

### 2.6.7 Komponen-Komponen Utama Sistem Pembangkit

HOMER mempunyai 10 tipe komponen utama sebuah pembangkit, Adapun 10 komponen tersebut yaitu :

- a. Sel surya (*photovoltaic*), mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (DC) melalui proses *photoelectric*.
- b. Turbin angin, memanfaatkan angin untuk memutar turbin yang memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (DC).
- c. Turbin air, memanfaatkan deras aliran air untuk memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (AC/DC).
- d. Generator, menggunakan bahan bakar konvensional untuk dapat memutar motor yang dapat menghasilkan listrik (AC/DC).
- e. Jaringan transmisi, fungsinya sebagai jembatan untuk mengirimkan energi listrik dari pembangkit ke jaringan distribusi lalu ke konsumen.
- f. Boiler (uap), energi yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan melalui proses pemanasan yang menghasilkan uap untuk menggerakkan generator.
- g. Konverter, adalah komponen yang mengubah listrik AC menjadi listrik DC.
- h. *Electrolizer*, fungsinya mengubah kelebihan energi listrik AC/DC menjadi hidrogen melalui proses elektrolisis air.
- i. Baterai, digunakan untuk penyimpanan sementara listrik DC dari sumber pembangkit untuk kemudian digunakan secara langsung oleh beban atau diubah menjadi AC terlebih dahulu agar bisa dikonsumsi beban.
- j. Tangki penyimpanan hidrogen, fungsinya menyimpan hidrogen dari *electrolizer* ke bahan bakar atau generator.

### 2.6.8 Simulasi dan analisa elektrik

Simulasi elektrik merupakan simulasi menggunakan *software* Homer, adapun untuk menghasilkan elektrik menggunakan parameter seperti daya angin, daya mekanik dan daya listrik.

- a. Daya Angin Angin merupakan energi kinetik yang sangat banyak, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dengan menangkap daya

angin menggunakan kincir angin. Persamaan yang digunakan dalam menghitung daya yang dapat diberikan oleh angin adalah :

$$P = 0,5 \rho A V^3$$

Dimana:

$P$  = Daya (watt)

$\rho$  = Density udara (1,225 kg/m)

$A$  = Luas area sapuan (m<sup>2</sup>)

$V$  = Kecepatan angin (m/s)

b. Daya mekanik

Daya mekanik atau daya gerak merupakan gaya yang berguna untuk menggerakkan dan memutar turbin. Persamaan yang digunakan untuk mendapat nilai daya mekanik yaitu:

$$P_m = P_w \times CP$$

Dimana :

$P_m$  : Daya Mekanik

$P_w$  : Daya angin

$C_p$  : Koefisien kinerja (maksimum teoritis = 0,59  
[Betz limit], Desain = 0,35)

c. Daya Listrik

Untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan maka digunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$P_e = \eta \times P_m$$

Dimana

$P_e$  : Daya elektrik (W)

$\eta$  : Effisiensi (%)

$P_m$  : Daya mekanik (W)

d. Baterai

Kapasitas baterai yaitu jumlah muatan yang tersimpan pada baterai yang menggambarkan sejumlah energi maksimal yang di keluarkan

dari sebuah baterai yang dinyatakan dalam Ampere Hour (Ah). Nilai Ah ini didapatkan dari perkalian antara nilai arus yang dapat dikeluarkan baterai dengan berapa lamanya waktu untuk mengeluarkannya. Untuk itu, baterai yang bernilai 12 V 200 Ah berarti bahwa baterai akan dapat melepaskan daya baik sebesar 200 A dalam 1 jam, 50 A dalam 4 jam, 4 A dalam 50 jam, atau 1 A dalam 200 jam. Kemudian, ketika merancang kapasitas baterai untuk sistem pembangkit yang paling penting dilakukan yaitu memperhatikan berapa jumlah. kebutuhan listrik dalam satuan ampere *hour* (Ah) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Q = \frac{E_{tot}}{V_{DC}}$$

Dimana

$E_{tot}$  = total kebutuhan energi harian

$V_{DC}$  = Tegangan inverter yang digunakan.

Sedangkan besarnya kapasitas baterai yang di perlukan dalam sistem pembangkit listrik di hitung dengan :

$$E_{batterai} = \frac{Q \times T_{aut}}{DoD_{max} \times F_{temp}}$$

Dimana :

$T_{aut}$  = Target hari otonomi

$DoD_{max}$  = muatan listrik maksimum

$F_{temp}$  = Faktor koreksi temperatur (98%)

e. Konverter

Kapasitas konverter yang sesuai dengan pembangkit dapat di hitung menggunakan nilai beban puncak menggunakan persamaan

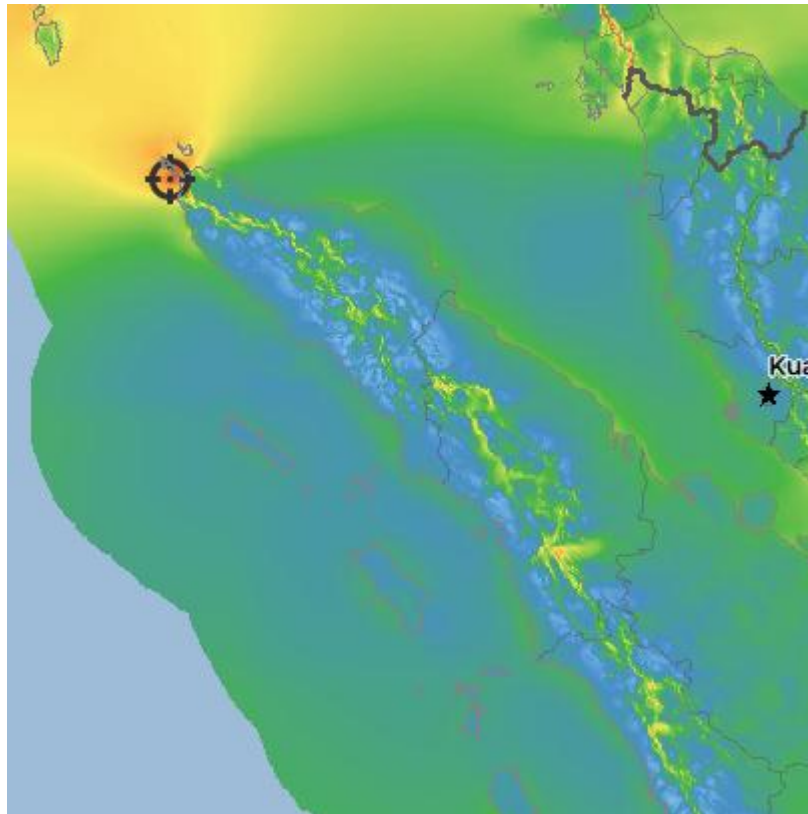
$$E_{converter} = \text{beban puncak} \times \text{oversupply coefficient} (1,3 - 2,0)$$

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan waktu

#### 3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini kegiatan simulasi dan pengambilan data dilakukan dengan memilih tempat lepas pantai yang memiliki potensi energi angin yang baik karena merupakan energi utama dalam sistem pembangkitan. Berdasarkan data dari website [www.windatlas.com](http://www.windatlas.com) potensi angin offshore terbesar di bagian barat indonesia terletak di koordinat  $5^{\circ}31'32.8''\text{LU}$   $95^{\circ}07'10.7''\text{BT}$  di *offshore* aceh besar.



Gambar 3. 1 peta potensi angin pada ketinggian 50 m

#### 3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai dari bulan agustus sampai dengan bulan September 2021.

No.	Uraian kegiatan	Minggu ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul						
2	Studi literatur						
3	Penulisan BAB 1 s/d BAB 3						
4	Seminar proposal						
5	Penelitian dan pengambilan data						
6	Pengolahan data						
7	Penyesuaian penulisan						
8	Sidang						

Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan penelitian

### 3.2 Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini Bahan dan alat yang digunakan untuk mensimulasikan dan menganalisa sistem pada pembangkit listrik *hybrid* berbasis tenaga angin dan pasang surut adalah sebagai berikut:

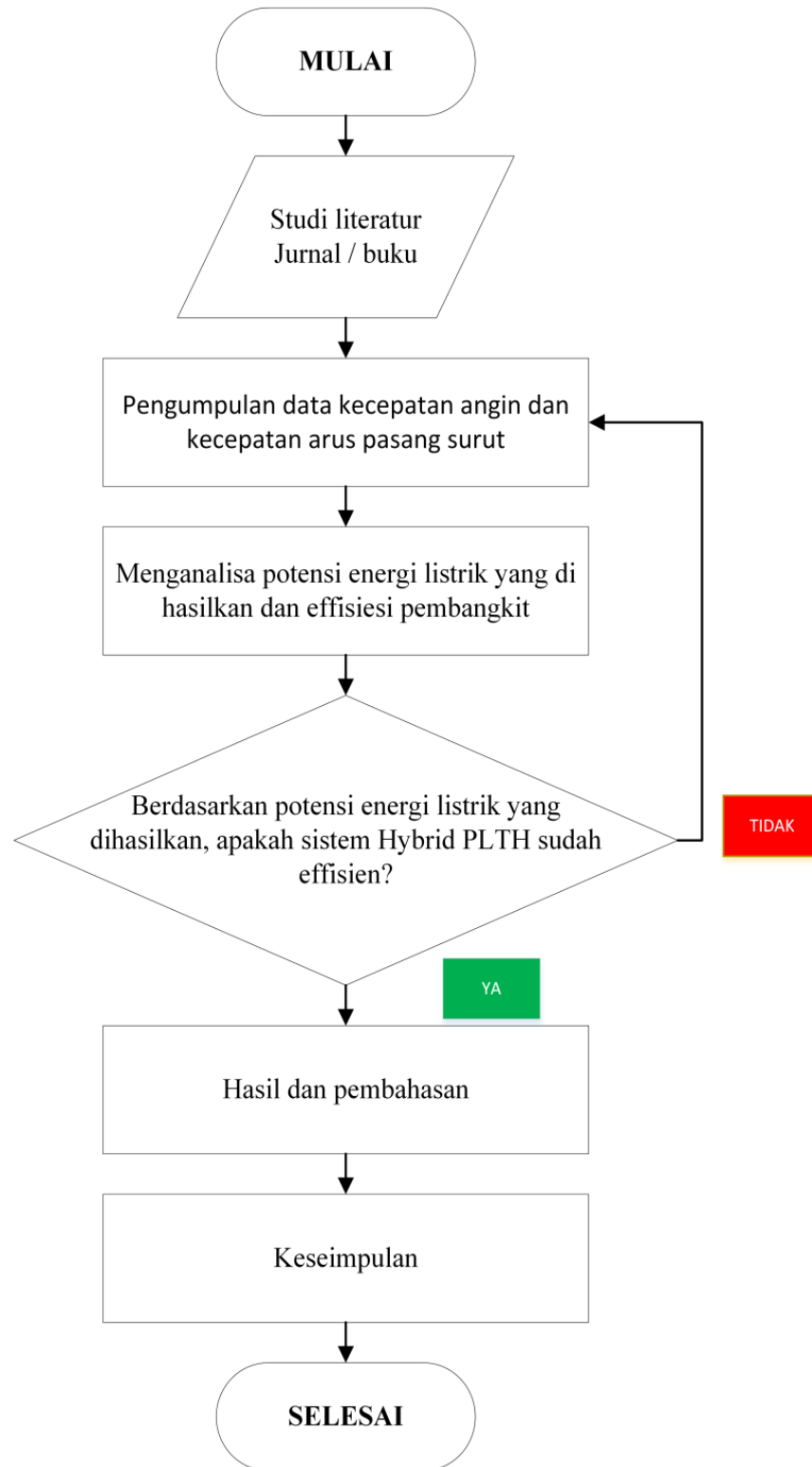
1. Laptop Toshiba *core 2 duos*.
2. Kalkulator.
3. *Flashdisk*.
4. *Software* HOMER.
5. *Software* SAM (*system Adventory Model*)
6. Microsoft Word.
7. Microsoft Power Point.
8. Microsoft excel.

### 3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara pengumpulan data literatur dari penelitian yang telah ada untuk selanjutnya dilakukannya simulasi menggunakan aplikasi HOMER untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari data penelitian sebelumnya. Dari simulasi yang diharapkan akan diperoleh konfigurasi pembangkit listrik tenaga *hybrid* angin lepas pantai dan arus pasang surut air laut agar dapat diterapkan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Adapun metode penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengumpulan data pendukung untuk penulisan tugas akhir ini yang didapat dalam jurnal maupun *software* HOMER :
  - a. Kecepatan angin
  - b. Kecepatan arus saat pasang surut
  - c. Data spesifikasi dan harga material konstruksi
  - d. Beban terpasang
2. Mengolah data yang sudah didapat dengan menggunakan *software* HOMER untuk menganalisa kelayakan sistem *hybrid*
3. Menarik kesimpulan dari hasil analisa agar dapat menentukan tingkat efisiensi tertinggi pada sistem pembangkit
4. Pembuatan laporan dari hasil seluruh penelitian ini akan dituliskan pada tugas akhir.

Untuk selanjutnya proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian



### 3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilaksanakan pada bulan agustus sampai dengan bulan september 2021 bertempat di laboratorium teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tema yang harus diteliti dengan cara melakukan study literatur untuk memperoleh berbagai teori dan konsep guna mendukung penelitian.
2. Memahami data yang diperoleh kemudian menghitung data yang diperoleh sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan.
3. Mensimulasikan sistem *hybrida* pembangkit menggunakan *software* HOMER.
4. Menganalisa sistem pembangkit listrik *hybrid* dengan menggunakan bantuan *software* HOMER.
5. Membuat penarikan kesimpulan berupa efisiensi dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* angin dan pasang surut.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Sistem PLTB *Offshore*

##### 4.1.1 Data energi angin

Data kecepatan angin dalam rentang waktu tahun 2000 sampai dengan tahun 2020 diambil dari website <https://power.larc.nasa.gov/>

Bulan	Rata-rata (m/s)	Maximum (m/s)	Minimum (m/s)
Januari	5,32	20,97	0,02
Februari	4,89	13,88	0,07
Maret	3,79	13,55	0,06
April	3,31	12,58	0,03
Mei	4,95	15,27	0,04
Juni	5,98	14,71	0,23
Juli	6,27	13,89	0,08
Agustus	6,10	13,26	0,21
September	5,22	11,67	0,18
Oktober	4,60	13,09	0,04
November	4,04	13,22	0,02
Desember	4,97	13,64	0,01

Tabel 4. 1 Data kecepatan angin

Berdasarkan tabel kecepatan angin di atas, diperoleh data kecepatan angin yaitu :

kecepatan angin rata = 4,95 m/s

Kecepatan angin maksimal = 20,97 m/s

Kecepatan angin minimum = 0,01 m/s

Masa jenis udara = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

Dari parameter tersebut, lokasi penelitian memiliki angin yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik dikarenakan kategori kecepatan rata-rata angin per tahun 4,95 m/s berada di kelas 4, dimana memenuhi syarat antara kelas 3 sampai dengan kelas 8 untuk kategori angin yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembangkitan energi listrik.

#### 4.1.2 Pemilihan Turbin Angin

Dengan kecepatan angin rata-rata 4,95 m/s maka turbin yang sesuai menurut standar IEC 61400 dengan kecepatan angin rata-rata tersebut maka turbin angin yang paling cocok adalah turbin kelas IV (*Very Low Wind*) namun kecepatan angin tersebut dapat dimanfaatkan menggunakan turbin kelas 3 hingga 56 % dari kapasitas generator turbin. (Habibie et al., 2011)

##### a. Perhitungan Luas Rotor

Luas sapuan rotor pada turbin angin dihitung menggunakan persamaan

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

Turbin angin diharapkan dapat menghasilkan daya maksimal 850 kv. sehingga di dapat luas rotor yaitu :

$$A = \frac{2P}{\rho v^3} = \frac{2 \times 850000 \text{ W}}{1,2 \text{ kg} \times 4,95^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 11680,63 \text{ m}^2$$

##### b. Diameter Sudu Turbin

Dari luasan rotor tersebut ditentukan diameter sudu turbin yang sesuai dengan perhitungan

$$A = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d$$

$$d = \frac{2A}{4\pi l} = \frac{2 \times 11680,63}{4 \times 3,14 \times 52}$$

$$d = 35,76 \text{ m}$$

##### c. Tip Speed Ratio

setelah didapat nilai diameter sudu maka dapat di hitung nilai tip speed ratio ( $\lambda$ ) dengan persamaan

$$\lambda = \frac{\pi d}{v}$$

$$\lambda = \frac{3,14 \times 35,76 \text{ m}}{4,95 \text{ m/s}}$$

$$\lambda = 22,68$$

d. Putaan Turbin

Berdasarkan kecepatan angin dan diameter sudu dapat dihitung nilai dihasilkan turbin angin dengan persamaan

$$\begin{aligned} \text{RPM} &= 60 \frac{\lambda v}{\pi d} \\ \text{RPM} &= 60 \frac{22,68 \cdot 4,95 \text{ m/s}}{3,14 \cdot 35,76 \text{ m}} \\ \text{RPM} &= 59,9 \text{ RPM} \end{aligned}$$

e. Torsi turbin yang dihasilkan Setelah di dapat nilai RPM maka dapat di nilai torsi pada turbin menggunakan persamaan

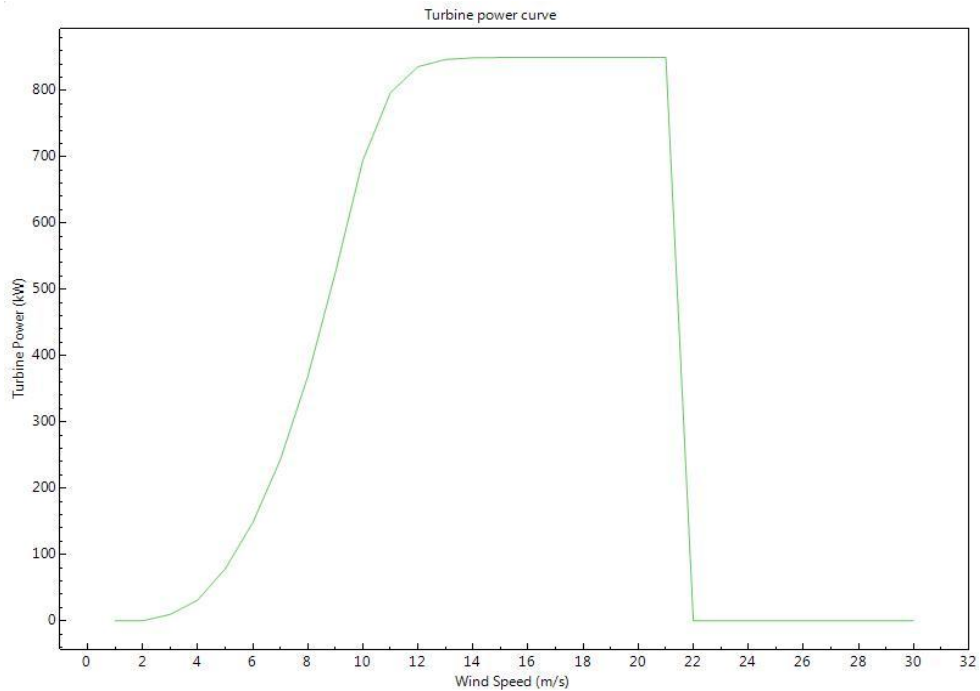
$$\begin{aligned} T &= \frac{30P}{\pi \cdot \text{RPM}} \\ T &= \frac{30 \cdot 850000}{3,14 \cdot 59,9} \\ T &= 135638,2 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka tipe turbin angin yang tepat dengan potensi energi angin adalah turbin angin jenis HAWT (*horizontal axis wind turbine*)pabrikan SIEMENS Gamesa G52 850 , dengan spesifikasi sebagai berikut

Parameter	Value
Tipe	SIEMENS Gamesa G52 850
Cut in wind speed	4 m/s
Cut out wind speed	25 m/s
Rate power	850 Kw
Diameter rotor	52 m
Tinggi hub	65 m

Tabel 4. 2 Spesifikasi Turbin Gamesa G52

Gambar berikut ini merupakan grafik produksi energi listrik turbin Gamesa G52 850 terhadap kecepatan angin yang mencapai maksimal output pada kecepatan 14 m/s



Gambar 4. 1 Produksi energi listrik turbin gamesa G52 850

#### 4.1.3 Potensi Energi Listrik

potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan luas sapuan rotor dihitung menggunakan persamaan.

$$P = 0.5 \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P = 0,5 \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot 11680,63\text{m}^2 \cdot 4,95^3 \text{ m/s}$$

$$P = 850027,77 \text{ watt}$$

$$P = 850 \text{ kW}$$

sedangkan potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan memperhitungkan faktor efisiensi maksimal turbin angin sebesar 59,3 % (konstanta betz) ialah.

$$P_{\eta} = P \cdot C(\text{konstanta betz})$$

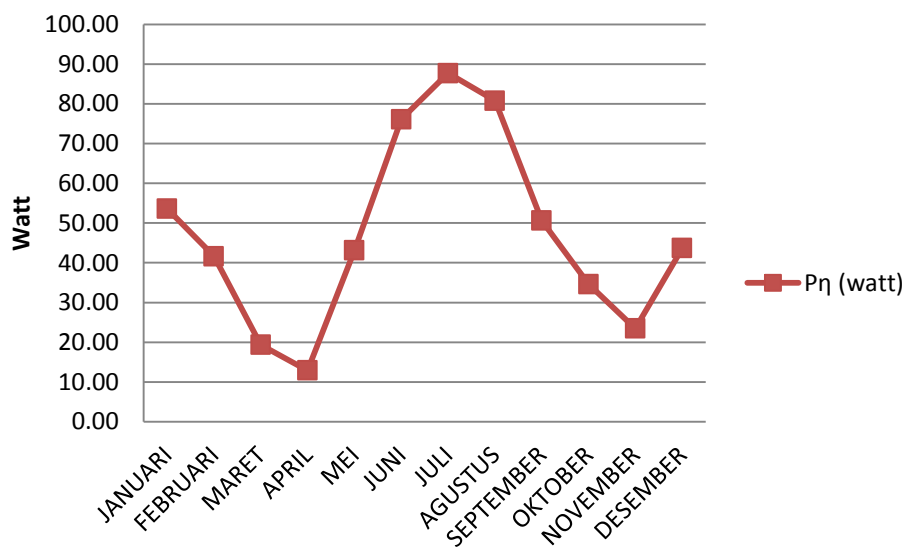
$$P_{\eta} = 850 \text{ KW} \cdot 59,3 \%$$

$$P_{\eta} = 504,05 \text{ kW}$$

Dengan output energi listrik 504,05 kW pembangkit ini berpotensi untuk dijadikan pembangkit listrik skala menengah yang mempunyai kapasitas 40 kW sampai 999 kW. Sedangkan potensi energi listrik sepanjang tahun dapat di lihat pada tabel dan grafik di bawah ini

Bulan	P $\eta$ (watt)
Januari	625759
Februari	485958,1
Maret	226250,7
April	150714,9
Mei	504066,5
Juni	888742,1
Juli	1024412
Agustus	943325,8
September	591131
Oktober	404525,3
November	274041,5
Desember	510201,1

Tabel 4. 3 Potensi produksi energi listrik pertahun



Gambar 4. 2 grafik produksi energi listrik sepanjang tahun

Rata rata jumlah produksi energi listrik dalam satu bulan ialah

$$P_{out} = \frac{P_{\eta total}}{jumlah}$$

$$P_{out} = \frac{6629128}{12}$$

$$P_{out} = 552427,3 \text{ kW}$$

## 4.2 Analisa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut

### 4.2.1 Data Kecepatan Arus Laut

Tabel 4.3 data kecepatan arus laut dalam rentan tahun 2015 – 2019 pada kedalaman 15 m

Bulan	Rata-rata (m/s)	Maximum (m/s)
Januari	0,144	0,41
Febuari	0,1576	0,506
Maret	0,1418	0,385
April	0,1244	0,427
Mei	0,1404	0,445
Juni	0,1448	0,479
Juli	0,148	0,423
Agustus	0,165	0,851
September	0,2408	0,674
Oktober	0,1222	0,537
November	0,1528	0,479
Desember	0,1648	0,553

Tabel 4. 4 Data Kecepatan arus laut

Berdasarkan data di atas dapat di ketahui data kecepatan arus yaitu

Kecepatan arus rata-rata = 0,153 m/s

Kecepatan arus maksimal = 0,377 m/s

Nilai densitas air laut = 1025 kg/m<sup>3</sup>

### 4.2.2 Turbin hidrokinetik

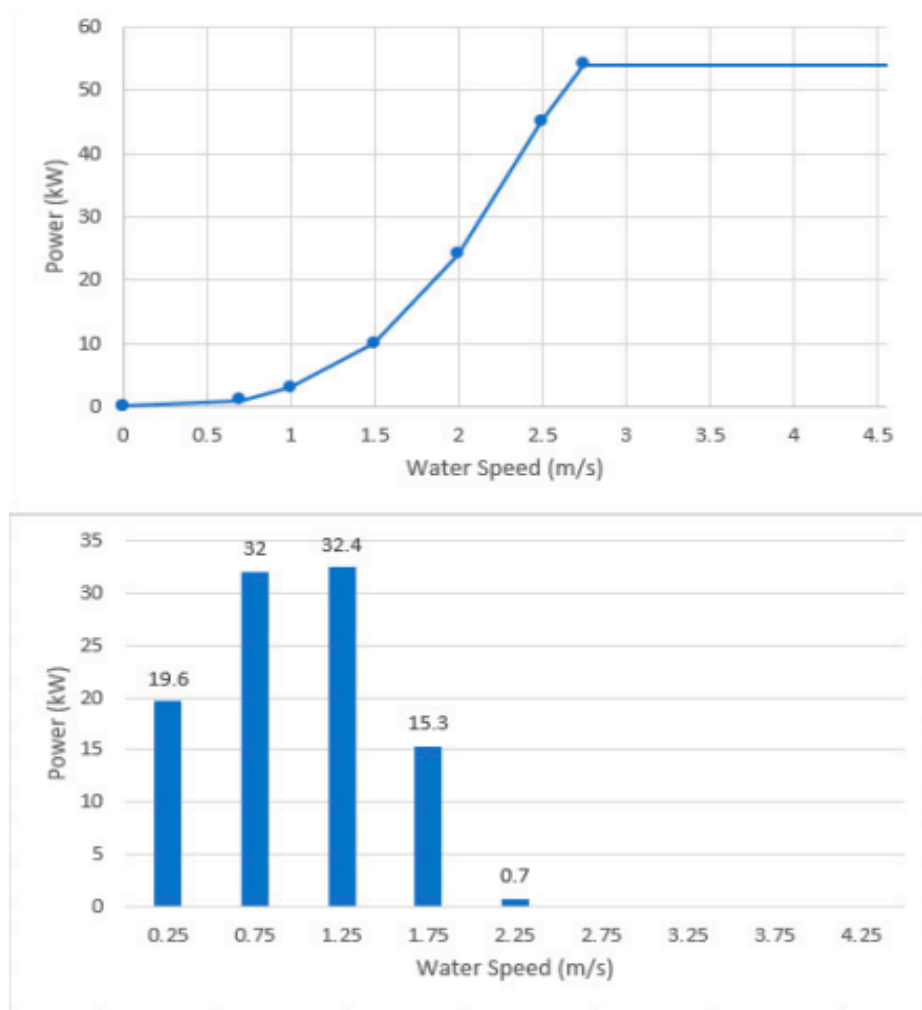
Data di atas menunjukkan bahwa kecepatan arus di lokasi penelitian termasuk kedalam arus dengan kecepatan rendah sehingga untuk pemilihan turbin di perlukan turbin dengan cut in di bawah 0,25 m/s agar

dapat menghasilkan energi listrik.(Nasab & Kilby, 2021) Maka jenis turbin yang paling tepat adalah Schottel (Schottel, Spray, Germany) (54 kW) dengan spesifikasi

Parameter	Value
Tipe	Schottel 54 KW
Cut in tidal speed	0,7 m/s
Cut out tidal speed	4,6 m/s
Rated power	2,5 m/s
Luas sapuan turbin	7,06 m <sup>2</sup>
Diameter rotor	3 m

Tabel 4. 5 Spesifikasi Turbin Schottel 54 kW

Berikut ini merupakan grafik potensi yang dapat dibangkitkan turbin schottel 54 kW berdasarkan kecepatan arus laut



Gambar 4. 3 Produksi energi listrik turbin schottel 54 KW



#### 4.2.3 Potensi energi yang dapat dibangkitkan

Berdasarkan data kecepatan arus laut dan spesifikasi turbin hidrokinetik diatas maka potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dicari menggunakan persamaan

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P = 0,5 \cdot 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 7,06 \text{ m} \cdot$$

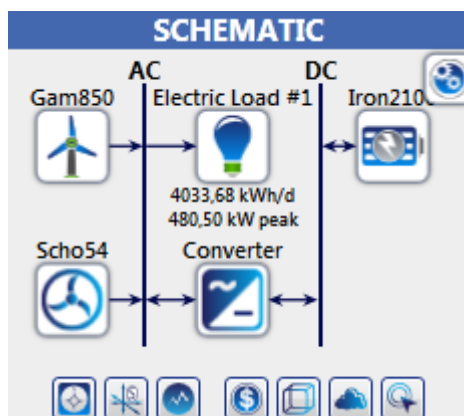
$$P = 183,27 \text{ Watthour}$$

BULAN	Potensi Energi (Watt)	
	Rata-Rata	Maximum
Jan	10,80	249,37
Feb	14,16	468,76
Mar	10,32	206,48
Apr	6,97	281,70
Mei	10,01	318,84
Jun	10,99	397,65
Jul	11,73	273,85
Aug	16,25	2229,91
Sept	50,52	1107,84
Okt	6,60	560,30
Nov	12,91	397,65
Des	16,19	611,89

Tabel 4. 6 Potensi energi listrik yang dibangkitkan

#### 4.3 Simulasi HOMER

Desain pembangkit listrik *hybrid* serta data kecepatan angin dan arus laut dalam penelitian ini diinput dan disimulasikan ke dalam *software* HOMER menggunakan skema pembangkit seperti gambar berikut ini



Gambar 4. 4 Skema pembangkit *hybrida*

Parameter yang di input dalam penelitian ini meliputi beban terpasang, turbin angin, turbin hydrokinetic, converter, dan baterai. Parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Input	Capital	O&M	Replacement	Salvage	Resource	Total
Gamesa G52 850	Rp31.0B	Rp28.0B	Rp18.3B	- Rp12.0B	Rp0.00	Rp65.3B
Iron Edison LFP 2100Ah	Rp21.8B	Rp45.46	Rp0.00	- Rp9.40B	Rp0.00	Rp12.4B
Schottel [54kW]	Rp7.68B	Rp6.93B	Rp10.4B	- Rp1.98B	Rp0.00	Rp23.0B
System Converter	Rp1.41B	Rp2.55B	Rp949M	- Rp243M	Rp0.00	Rp4.67B
System	Rp61.9B	Rp37.5B	Rp29.7B	- Rp23.6B	Rp0.00	Rp105B

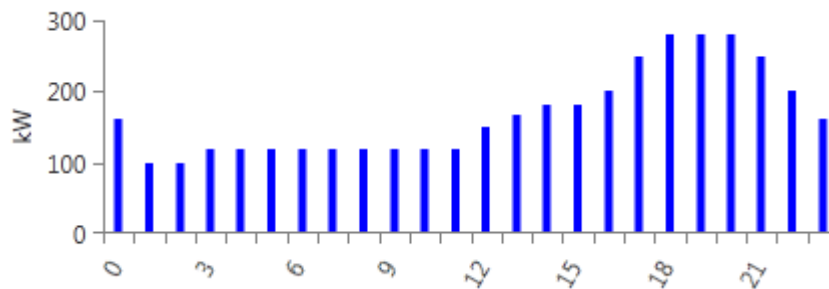
Tabel 4. 7 Parameter input HOMER

Berdasarkan analisa potensi angin, arus dan konfigurasi pembangkit diatas maka dapat di lakukan simulasi pembangkit menggunakan *software* HOMER sebagai berikut:

#### 4.3.1 Profil beban

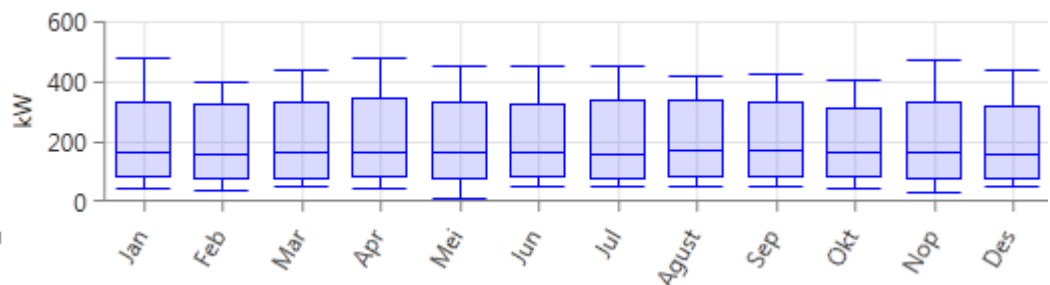
Profil beban yang digunakan dalam simulasi ini diambil berdasarkan kemampuan pembangkit *hybrid* menghasilkan energi listrik. dari perhitungan diatas diketahui pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga arus laut masing masing mampu menghasilkan

daya listrik sebesar 504,05 kWh dan 0,18 kWh maka daya yang dihasilkan kedua pembangkit ialah 504,23 kWh. Dari kemampuan pembangkit tersebut disimulasikan profil beban ialah sepertiga dari kemampuan pembangkit yaitu 168,07 kWh.



Gambar 4. 5 Profil beban harian

Dari grafik profil beban diatas diketahui konsumsi beban harian yaitu 4.018 kW per hari puncaknya pada pukul 18.00 sampai 20.00 yaitu 280 kWh



Gambar 4. 6 Profil beban bulan

Dari grafik profil beban diatas diketahui konsumsi beban harian yaitu 4.018 kW per hari puncaknya pada pukul 18.00 sampai 20.00 yaitu 280 kWh

#### 4.3.2 Optimasi

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa opsi konfigurasi pembangkit untuk membandingkan efisiensi pembangkit. Yaitu dengan opsi turbin angin dan turbin hydra kinetik 1:2, 2:1, dan 1:2 Hasil dari simulasi homer menunjukkan konfigurasi sistem pemangkit yang efisien

dan optimal ialah 1:2 dengan menggunakan 5 PLTB dan 10 PLTAL pada gambar berikut

Architecture							Cost			
	Gam850	Iron2100	Scho54	Converter (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	
5	107	10	684	CC	Rp3.969	Rp105B	Rp2,41B	Rp61,9B		

Architecture							Cost			
	Gam850	Iron2100	Scho54	Converter (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	
10	88	10	790	LF	Rp6.377	Rp170B	Rp4,44B	Rp89,3B		

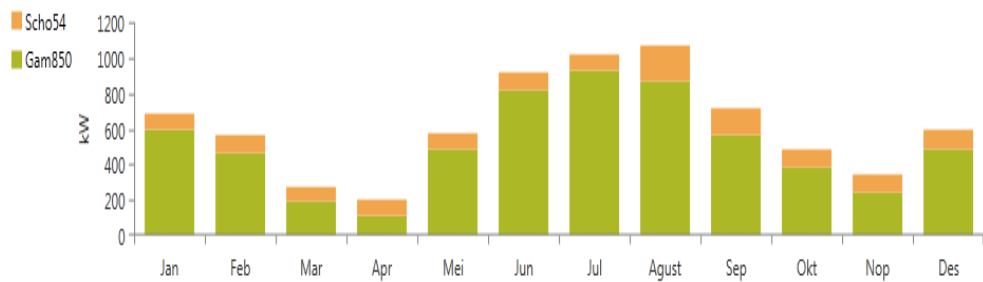
Architecture							Cost			
	Gam850	Iron2100	Scho54	Converter (kW)	Dispatch	COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	
20	101	10	922	LF	Rp11.371	Rp302B	Rp8,20B	Rp154B		

Turbin	COE	NPC	O&M	Production/y (KW)
5W, 10T	Rp.4.969	Rp. 105 M	Rp. 2,41 M	5.437.333
10W, 10T	Rp. 6.377	Rp. 170 M	Rp. 4,44 M	9.917.388
20W, 10T	Rp. 11.371	Rp. 302 M	Rp. 8.20 M	18.877.497

Tabel 4. 8 Perbandingan konfigurasi turbin angin dan turbin hidrokinetik

#### 4.3.3 Rata-rata Produksi Listrik

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* HOMER, produksi energi listrik pertahun yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik *hybrid* ialah 5.437.333 Kw pertahun, dengan masing-masing 4.480.055 kW untuk tenaga angin dan 957.278 kW untuk tenaga arus laut. Lebih jelasnya dilihat pada tabel berikut

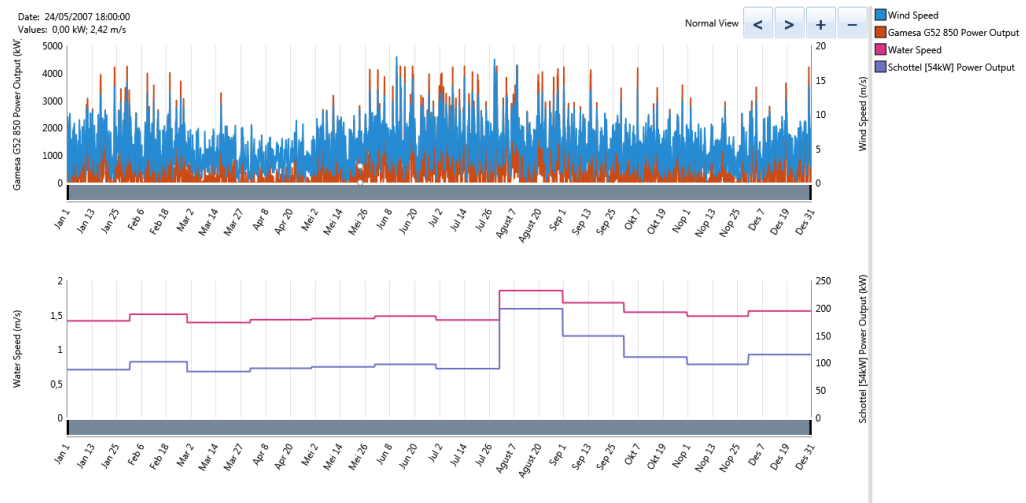


Gambar 4. 7 Rata-rata produksi listrik pertahun

Berdasarkan grafik produksi listrik pertahun diatas dapat dilihat bahwa produksi energi listrik tertinggi terjadi pada bulan agustus dan terendah pada bulan april

Produksi listrik	Kwh/tahun	%
Gamesa G52 850	4.480.055	82,4
Schottel [54kW]	957.278	17,6
Total	5.437.333	100

Tabel 4. 9 Produksi energi listrik per tahun



Gambar 4. 8 Produksi energi listrik berdasarkan kecepatan angin dan arus

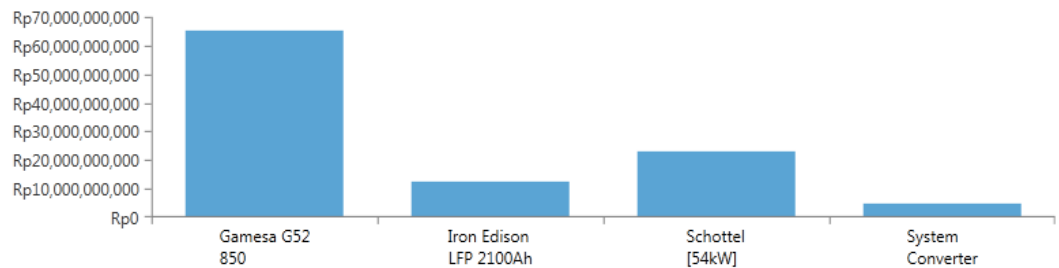
#### 4.3.4 Efisiensi Finansial

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* homer dengan konfigurasi 5 turbin angin, 10 turbin hidrokinetik, 96 baterai, dan 921 konverter menghasilkan total biaya sebagai berikut.

##### a. Capital Cost

- Gamesa G52 850 kw (5 pcs)  
 $Rp. 6.204.481.467 \times 5 = Rp31.022.407.335$

- Schottel [54kW] (10 pcs)  
Rp. 767.712.600 x 10 = Rp7.677.126.000
- Iron Edison LFP 2100Ah (107 string)  
Rp. 203.974.311 x 107 = Rp21,825,251,277.00
- System Converter (684 kW)  
Rp. 2.062.509 x 684 = Rp1,411,493,023.01



Gambar 4. 9 Biaya capital cost sistem pembangkit

b. *Replacment Cost*

Merupakan biaya yang disiapkan melakukan penggantian perkalian faktor diskon dan biaya tahunan dari NPC

Dapat di hitung menggunakan

$$i = \frac{\text{discount rate} - \text{inflasi}}{1 + \text{inflasi}}$$

Mengutip data dari Bank Indonesia (BI) nominal *discount rate* pada 18-19 oktober 2021 ialah sebesar 3,50 % Adapun *expected inflation rate* (f) yang digunakan adalah 0.80 % sesuai dengan *inflation target* BI pada tahun 2021 sehingga didapat nilai *real dicount rate*

$$i = \frac{3,50 - 0,8}{1 + 0,8} = 2,68 \%$$

- Gamesa G52 850  
Rp31,022,407,335.00 - Rp12,015,485,323.20  
Rp18,284,333,847.02

- Schottel [54kW  
Rp7,677,126,000.00 + (767.712.600 x 2,68%)  
Rp10,418,699,670.57

- System Converter  
Rp1,411,493,023.01 - Rp242,975,250.74  
Rp949,470,488.52

c. COE (*cost of energy*)

*Cost of energy* adalah harga rata-rata per kWh untuk menggunakan energi listrik dari sistem pembangkit. *Cost of energy* dapat di hitung dengan

$$\text{CoE} = \frac{\text{Total Annualized Cost (Rp)}}{\text{konsumsi energi (kW)}}$$

Dengan *Total Annualized Cost* (TAC)

$$\text{Dimana CRF}(2,68\%, 25) = \frac{2,68\%(1+2,68\%)^{25}}{(1+2,68\%)^{24}} = 0,055 \text{ maka,}$$

$$\begin{aligned} \text{TAC} &= 0,055 \times \text{Rp}105.434.240.163.02 \\ &= \text{Rp}5.839.617.483 \end{aligned}$$

Dari nilai TAC dapat di cari nilai CoE

$$\begin{aligned} \text{CoE} &= \frac{5839617483}{1.471.307} \\ &= \text{Rp. } 3.969 / \text{kWh} \end{aligned}$$

d. Efisiensi

Berdasarkan nilai *cost of energy* (COE) penelitian diatas dengan harga jual listrik Rp. 3.969/ kWh Pembangkit listrik lepas pantai ini masih belum efisien jika dibandingkan dengan tarif dasar listrik PLN yang hanya Rp. 1.325 untuk 900 VA dan Rp. 1.467 untuk 1400 VA per bulan November 2021. Ini dikarenakan energi arus laut masih terlalu kecil untuk dikonversi menjadi energi listrik. Pembangkit ini bisa menjadi alternatif untuk energi listrik di pertambangan lepas pantai (offshore mine)

## **BAB 5**

### **KESEIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa dan simulasi sistem offshore *hybrid* power plant berbasis energi angin dan arus laut yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Pembangkit listrik *hybrid* lepas pantai dapat menjadi solusi energi terbarukan yang menjanjikan. Berdasarkan penelitian diatas dengan kecepatan angin rata-rata 4.95 m/s dan kecepatan arus laut 0.377 m/s dapat menghasilkan energi listrik sebesar 5.437.333 kWh pertahun
2. Optimasi *software* HOMER di dapat dengan mencari perbandingan *cost of energy* (CoE) yang paling optimal. Dalam penelitian ini HOMER konfigurasi yang paling optimal ialah dengan 5 Turbin angin Gamesa G52 850kW, 10 Turbin hidrokinetik schottel 54 kW, baterai iron edison 107, dan 684 kW konverter *generic*.
3. Produksi energi listrik dari energi arus laut tidak terlalu optimal. Dikarenakan kecepatan arus yang masih terlalu rendah untuk memutar turbin dan hanya menghasilkan 17,6% dari total produksi energi. Ini menyebabkan meningkatnya biaya CoE per kWh
4. Nilai CoE dari hasil penelitian diatas adalah Rp. 3.969 per kWh. Ini masih terlalu mahal dibandingkan dengan tarif dasar listrik PLN yang Rp. 1.325 untuk 900 VA dan Rp. 1.467 untuk 1400 VA

#### **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan perbandingan antara anin lepas pantai dengan arus laut dan angin lepas pantai dengan energi matahari (solar sell), karena potensi energi matahari juga sangat besar di lepas pantai



## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. W., Hiron, N., & Nadrotan, N. (2019). Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Dengan Sumber Energi Terbarukan (Homer) Di Daerah Pesisir Pantai Pangandaran. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 1(1), 12–18.
- Akhir, T., & Nugraheni, A. (2010). *Perancangan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil di gedung bertingkat*. 1–6.
- Elektro, T., Riau, U., Teknik, J., & Universitas, E. (2016). *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Laut Di Perairan Kabupaten Karimun Kepulauan Riau Zainuddin \*, Edy Ervianto \*\**. *Jom FTEKNIK Volume 3 No . 1 Febuari 2016 Jom FTEKNIK Volume 3 No . 1 Febuari 2016*. 3(1), 1–8.
- Fischer, A., Silva, J. S., Beluco, A., & Almeida, L. E. B. (2015). Simulating Ocean and Tidal Current Power Plants with Homer. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 04(03), 38–55. <https://doi.org/10.4236/cweee.2015.43005>
- Habibie, M. N., Sasmito, A., & Kurniawan, R. (2011). Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 12(2), 181–187. <https://doi.org/10.31172/jmg.v12i2.99>
- Hong, H., Kim, S., Han, T. H., & Structure, A. D. T. (2016). *Section Design of DSCT Tower Supporting Wind and Tidal Power Turbines*. 3–6.
- IRENA. (2021). *Offshore renewables: An action agenda for deployment*.
- Jo, C., Lee, K., Lee, J., & Nichita, C. (2011). *Wake Effect on HAT Tidal Current Power Device Performance †*. 1(3), 144–147.
- Khulna-, T. (2015). *Grid Connected Hybrid Power System Design Using HOMER*. 19–22.
- Ma, K., Yang, Y., Wang, H., & Blaabjerg, F. (2014). Design for reliability of power electronics in renewable energy systems. In *Green Energy and Technology* (Vol. 0, Issue 9783319032238). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03224-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03224-5_9)
- Nasab, N. M., & Kilby, J. (2021). *Case Study of a Hybrid Wind and Tidal*

*Turbines System with a Microgrid for Power Supply to a Remote Off-Grid Community in New Zealand.*

- Nasab, N. M., Kilby, J., & Bakhtiaryfard, L. (2020). The potential for integration of wind and tidal power in New Zealand. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su12051807>
- Oseanografi, D., Diponegoro, U., Elektro, D. T., Diponegoro, U., Diponegoro, U., Laut, E. T., Dam, F., & Barat, K. (2016). *Alifdini et al. 2016*. 1–2.
- Pierre, S., Nichita, C., & Jo, C. H. (2013). *Concept development of real time emulators for offshore wind power ( OWP ) and tidal current power ( TCP ) hybrid system.*
- Rahman, M. L., & Shirai, Y. (2009). Hybrid Offshore-wind and Tidal Turbine (HOTT) energy Conversion II (6-pulse GTO rectifier DC connection and inverter). *European Wind Energy Conference and Exhibition 2009, EWEC 2009*, 4, 2231–2240.
- Sangari, F. J. (2014). *Perancangan pembangkit listrik pasang surut air laut*. 37(1), 187–196.
- Sukmawidjaja, M., Jurusan, D., Elektro, T., Jurusan, A., & Elektro, T. (2013). *SIMULASI OPTIMASI SISTEM PLTH MENGGUNAKAN SOFTWARE HOMER UNTUK*. 11, 17–42.
- Vendoti, S., Muralidhar, M., & Kiranmayi, R. (2021). Techno-economic analysis of off-grid solar/wind/biogas/biomass/fuel cell/battery system for electrification in a cluster of villages by HOMER software. *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 351–372. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00583-2>
- Yasri, I. (2016). *Aspek-aspek perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilahan Hulu*. 3(2), 2–5.

Lampiran 1

Data kecepatan angin dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2020 sumber

<https://power.larc.nasa.gov/>

Kecepatan angin rata-rata

<b>Tahun</b>	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>	<b>Mei</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agu</b>	<b>Sep</b>	<b>Okt</b>	<b>Nov</b>	<b>Des</b>
2000	6.59	4.57	3.04	4.7	5.34	6.79	7.16	7.1	4.98	6.58	4.91	3.57
2001	3.84	3.98	4.73	3.56	6.18	6.88	6.68	6.69	4.81	5.41	3.3	4.91
2002	7.55	5.41	4.24	2.46	5.81	5.94	7.2	6.27	5.47	3.71	4.47	4.46
2003	5.64	4.88	3.45	3.04	6.16	3.8	5.08	6.54	5.8	4.77	4.11	6.28
2004	5.77	5.0	4.22	2.84	6.3	7.29	5.52	7.27	4.2	4.7	4.42	6.85
2005	5.72	5.48	4.48	3.14	5.14	6.83	7.08	6.74	5.93	5.43	5.11	4.56
2006	5.33	4.94	3.97	4.4	4.43	5.82	7.49	6.03	4.98	4.32	3.59	6.88
2007	6.4	5.91	3.52	2.98	4.94	5.62	5.96	5.72	5.78	4.66	4.6	6.7
2008	4.66	4.96	4.55	3.59	5.42	5.23	5.7	4.87	5.58	3.93	4.35	5.82
2009	7.49	3.88	3.51	4.05	5.38	5.95	6.39	6.33	6.34	4.59	4.19	5.23
2010	4.95	4.42	3.55	2.84	3.55	5.84	5.39	6.33	4.8	5.86	4.67	3.33
2011	4.59	2.7	3.74	3.27	4.91	6.5	6.22	4.85	5.77	4.73	4.89	4.73
2012	3.79	3.55	3.19	3.59	5.8	6.58	6.83	5.16	4.98	3.27	3.86	4.81
2013	3.62	4.27	3.12	3.35	5.08	6.76	6.51	5.88	5.76	4.2	3.22	4.41
2014	6.59	4.67	5.25	2.96	3.98	6.73	7.06	4.98	4.17	3.79	3.95	4.72
2015	4.75	5.7	3.48	3.13	3.78	4.3	5.87	4.67	4.03	2.83	2.59	4.05
2016	5.2	6.55	3.58	2.55	4.8	6.67	5.84	7.72	6.71	6.2	3.73	5.55
2017	5.04	5.07	3.27	3.83	5.36	5.13	6.67	5.53	5.12	4.77	3.9	5.12
2018	3.01	5.19	3.47	3.34	3.03	5.86	7.91	7.52	4.97	3.28	3.87	3.33
2019	5.09	4.95	3.53	3.08	3.64	5.77	4.75	6.69	4.04	3.16	4.02	5.21
2020	6.2	6.59	3.72	2.71	4.98	5.31	4.27	5.23	5.43	6.4	3.19	3.77

Lampiran 2

Data kecepatan arus di koordinat 5°31'32.8"LU 95°07'10.7"BT di offshore aceh besar. diambil dari website <https://thredds.jpl.nasa.gov> dalam rentang waktu 2015 sampai 2019

BULAN	Tahun					kecepatan arus (m/s)	
	2015	2016	2017	2018	2019	Rata-rata	Maximum
JAN	0,17	0,18	0,11	0,13	0,13	0,144	0,41
FEB	0,185	0,248	0,081	0,181	0,093	0,1576	0,506
MAR	0,132	0,119	0,181	0,145	0,132	0,1418	0,385
APR	0,152	0,112	0,149	0,102	0,107	0,1244	0,427
MEI	0,167	0,152	0,136	0,133	0,114	0,1404	0,445
JUN	0,254	0,082	0,163	0,053	0,172	0,1448	0,479
JUL	0,14	0,134	0,165	0,159	0,142	0,148	0,423
AUG	0,151	0,096	0,111	0,09	0,377	0,165	0,851
SEPT	0,128	0,155	0,28	0,355	0,286	0,2408	0,674
OKT	0,097	0,165	0,077	0,111	0,161	0,1222	0,537
NOV	0,153	0,125	0,138	0,094	0,254	0,1528	0,479
DES	0,127	0,123	0,136	0,158	0,28	0,1648	0,553



## **RIWAYAT HIDUP**

### **DATA DIRI**

Nama : Rahmat Burmanjaya  
NPM : 1707220086  
Tempat. Tanggal Lahir : Rengat. 5 Maret 1997  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. Pendidikan Bukit Kapur, Dumai, Riau  
No. Handphone : 085362471675  
E-mail : [alexamsukai@gmail.com](mailto:alexamsukai@gmail.com)

### **RIWAYAT PENDIDIKAN**

Sekolah Dasar : SDN 006 Dumai (2003 – 2009)  
SMP : SMPN 11 Dumai (2009-2012)  
SMA : SUPM Provinsi Riau (2012-2015)  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
(2017-2022)



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**FAKULTAS TEKNIK**

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<http://fatek.umsu.ac.id>

[fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

[f umsumedan](#)

[i umsumedan](#)

[t umsumedan](#)

[y umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor : 786/III.3AU/UMSU-07/F/2021**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 7 Juni 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : RAHMAT BURMANJAYA  
Npm : 1707220086  
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO  
Semester : VIII (DELAPAN)  
Judul Tugas Akhir : SIMULASI DAN ANALISA SISTEM OFFSHARE HYBRID POWER PLANT BERBASIS ENERGI ANGIN DAN PASANG SURUT  
Pembimbing : FAISAL IRSAN PASARIBU, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 26 Syawal 1442 H

07 Juni 2021 M



Dekan

**Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT**

**NIDN: 0101017202**



**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

**NAMA** : RAHMAT BURMANJAYA  
**NPM** : 1707220086  
**JUDUL** : SIMULASI DAN ANALISA SISTEM OFFSHORE HYBRID  
**POWER PLANT BERBASIS ENERGI ANGIN LEPAS**  
**PANTAI DAN ARUS PASANG SURUT AIR LAUT**

No.	Keterangan	Tanggal	Paraf
1	Sesuaikan bentuk percabangan diagram alir dengan prosedur penelitian.	07-08-2021	
2	Perbaiki prosedur penelitian, bedakan antara mensimulasikan dengan menganalisa.	07-08-2021	
3	Perbaiki ruang lingkup penelitian	07-08-2021	
4	Tambahkan tentang HOMER di ruang lingkup penelitian.	07-08-2021	
5	Tambahkan gambar tampilan simulasi HOMER di BAB 2.	07-08-2021	
6	Perjelas ruang lingkup yang dilakukan untuk efisiensi pembangkit.	10-08-2021	
7	Tambahkan citasi di pembahasan khusus HOMER.	18-08-2021	
8	Perbaiki simbol analisa pada digram alir.	19-08-2021	
9	Perbaiki narasi analisa diagram alir sesuai dengan ruang lingkup penelitian.	21-08-2021	
10	Acc untuk diseminar proposalkan	21-08-2021	

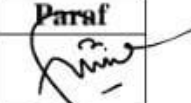








**DOSEN PENDAMPING / PEMBIMBING**



**FAISAL IRSAN PASARIBU S.T.,M.T)**

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

**NAMA : RAHMAT BURMANJAYA**  
**NPM : 1707220086**  
**JUDUL : SIMULASI DAN ANALISA SISTEM OFFSHORE HYBRID  
POWER PLANT BERBASIS ENERGI ANGIN LEPAS  
PANTAI DAN ENERGI ARUS AIR LAUT**

No.	Keterangan	Tanggal	Paraf
1	Buat nama tabel	28-09-2021	
2	Buat alamat website sumber data nasa power	28-09-2021	
3	Buat perhitungan manual analisa finansial	28-09-2021	
4	Perbaiki penulisan, awal kata huruf besar	07-10-2021	
5	Perbaiki format tebal sesuai format artikel	07-10-2021	
6	Perbaiki penulisan BAB 5	12-10-2021	
7	Buat daftar pustaka	12-10-2021	
8	Buat abstrak	15-10-2021	
9	Acc untuk di seminar hasilkan	15-10-2021	

**DOSEN PENDAMPING / PEMBIMBING**



**FAISAL IRSAN PASARIBU S.T.,M.T)**



**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

**NAMA : RAHMAT BURMANJAYA**  
**NPM : 1707220086**  
**JUDUL : SIMULASI DAN ANALISA SISTEM OFFSHORE HYBRID  
POWER PLANT BERBASIS ENERGI ANGIN LEPAS  
PANTAI DAN ENERGI ARUS AIR LAUT**

No.	Keterangan	Tanggal	Paraf
1	Perbaiki format abstrak	16-02-2022	
2	Perbaiki format tabel	16-02-2022	
3	Miringkan kata berbahasa asing	16-02-2022	
4	Buat lampiran sumber energi angin	18-02-2022	
5	Perbaiki analisa efisiensi	18-02-2022	
6	Acc untuk sidang	18-02-2022	

**DOSEN PENDAMPING / PEMBIMBING**



**FAISAL IRSANTASARIBU S.T.,M.T)**