

TUGAS AKHIR

**ANALISA EKONOMIS *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
HYBRID (SURYA DAN ANGIN) DI SUMATERA UTARA**

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

Disusun Oleh:

YOLAN DANU PUTRO
1407220058



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2019

HALAMAN PENGESAHAN

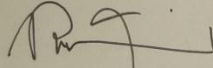
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Yolana Danu Putro
NPM : 1407220058
Program Studi : Teknik elektro
Judul Skripsi : Analisa Ekonomis *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya Dan Angin) Di Sumatera Utara

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.

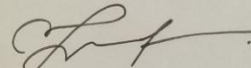
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



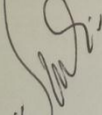
Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Peguji



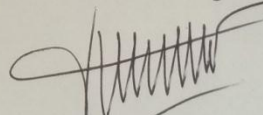
Partaon Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembimbing I / Penguji



Noorly Evalina, S.T., M.T

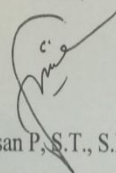
Dosen Pembimbing II / Peguji



Zulfikar, S.T., M.T



Program Studi Teknik Elektro
Ketua,



Faisal Irsan P., S.T., S.Pd., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Yolana Danu Putro
Tempat / Tanggal Lahir : Giti, 18 Oktober 1995
NPM : 1407220058
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

**“ANALISA EKONOMIS *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA *HYBRID* (SURYA DAN ANGIN) DI SUMATERA UTARA”,**

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 orisinal 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 Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

Yolana Danu Putro

ABSTRAK

Angin dan matahari sebagai alternatif untuk menghasilkan energi listrik dengan kebutuhan masyarakat akan energi listrik kian meningkat, hal ini dikarenakan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Hal ini diperparah dengan tingginya kebutuhan bahan bakar minyak yang tidak diiringi oleh kenaikan kapasitas produksi. Ketersediaan energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia, penggunaan energi terbarukan dapat menjadi alternatif dalam mengatasi krisis energi fosil yang semakin berkurang. Maksud dari penelitian ini adalah bertujuan merancang prototipe dari energi terbarukan dengan sistem sinkronisasi pembangkit listrik hybrid (angin dan surya) berbasis DC-AC inverter dengan memanfaatkan energi cara menggabungkan kedua buah sumber energi tersebut menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sumber listrik dan mengurangi pemakaian energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik konvensional penelitian yang dilakukan dengan menggunakan turbin angin savonius dengan generator permanen magnet DC type GR53X58 dan panel surya 100 WP dengan baterai 12 Ah pada PLTS dan 7.5 Ah pada PLTB sebagai media penyimpanan energi listrik dan inverter 500 watt sebagai pengubah sumber tegangan searah menjadi sumber tegangan bolak-balik mampu untuk melayani pembebanan maksimum sebesar 236 watt dengan beban kecil seperti lampu pijar dan motor kapasitas kecil.

Kata kunci : Energi Alternatif, Panel Surya, Inverter, PLTB, PLTH

ABSTRAC

Community needs for electricity will increase, this will increase population growth, economic growth, and the pattern of energy consumption itself. This is compounded by the high demand for fuel oil which is not accompanied by the increase in production capacity. Increasing renewable energy to diminishing fossil energy is one of the causes of rising world energy, the use of renewable energy is an alternative in overcoming the diminishing energy crisis. The purpose of this study is to discuss the prototype of renewable energy with a system aimed at hybrid power plants (wind and solar) based on DC-AC inverters using wind and solar energy as an alternative to generate electricity by connecting which can be used to meet source requirements electricity and reduce the use of fossil energy as fuel for conventional research power plants carried out using savonius wind turbines with permanent magnet generators DC type GR53X58 and 100 WP solar panels with 12 Ah batteries on PLTS and 7.5 Ah on PLTB as electrical energy storage media and a 500 watt inverter as a unidirectional voltage source converter to a alternating voltage source capable of serving 236 watts of maximum load with small loads such as incandescent bulbs and small capacity motors.

Keyword : Alternative Energy, Solar panel, Inverter, Wind Power Plant, Hybrid Power Plant.

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 **“Analisa Ekonomis *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (Surya Dan Angin) Di Sumatera Utara”** 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. Ibu Rimbawati S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Partaonan Harahap S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Noorly Evalina S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Zulfikar S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua penulis : Sudarwin dan Nursriani , yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis : Chandra Saputra, Nino Winanda, Muhamad Rafik, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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 konstruksi teknik sipil/Mesin/Elektro.

Medan, 21 Maret 2019

Penulis

YOLAN DANU PUTRO

1407220058

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRAC	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penelitian.....	4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid	12
2.3 Sel Surya.....	13
2.3.1 Keuntungan Dan Kerugian Sel Surya.....	14
2.3.2 Jenis Sel Surya.....	15
2.3.3 Karakteristik Sel Surya.....	17
2.3.4 Cara Kerja Sel Surya	18
2.4 Solar Charger Controler.....	22
2.5 Turbin Angin	23
2.5.1 Komponen Turbin Angin.....	26
2.6 Generator	29
2.7 Baterai.....	30
2.8 Inverter.....	30
2.9 Metode Analisis Ekonomi teknik	31

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.2.1 Alat Yang Digunakan	34
3.2.2 Bahan-Bahan Yang Dibutuhkan.....	35
3.3 Data Penelitian.....	36
3.4 Jalannya Penelitian.....	37
3.4.1 Desain PLTS.....	39
3.4.2 Desain PLTA (Angin)	40

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ringkasan Biaya Perencanaan Prototype pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya dan Angin)	44
---	----

4.1.1 Hasil Perhitungan Nilai Sekarang (P_w), Nilai Deret Seragam (A_w) Dan Nilai Akan Datang (F_w) Dari Komponen Biaya PLTS Dan PLT-Angin	46
4.2 Hasil Perhitungan Pemulihan Modal Dan Periode Pengambilan Modal Perencanaan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid.....	47
4.2.1 Pada 1 Pemulihan Modal (<i>Capital Recovery</i>).....	47
4.2.2 Periode Pengembalian (<i>Payback Period</i>).....	50
4.2.3 Titik Impas (<i>Break Even Point</i>)	51

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram PLTH (surya dan angin)	13
Gambar 2.2 <i>fotovoltaik</i>	16
Gambar 2.3 <i>Polikristal</i>	16
Gambar 2.4 <i>amorfous</i>	17
Gambar 2.5 Cara kerja sel surya	18
Gambar 2.6 Enkapulasi / <i>Cover Glass</i>	21
Gambar 2.7 <i>Solar Charger</i>	23
Gambar 2.8 Turbin Angin Horizontal	24
Gambar 2.9 Turbin Angin Sumbuh Vertikal.....	25
Gambar 2.10 Komponen Turbin Angin Kecil	27
Gambar 2.11 Gaya-gaya angin pada sudu (Eri Prasetyo.2002)	27
Gambar 3.1. Desain PLTS	39
Gambar 3.2 Desain Prototype PLTB Menggunakan 6 Sudu <i>Type Vertikal</i> (<i>SAVONIUS</i>)	41
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sel Surya 50 Wp	19
Tabel 3.1 Bahan-Bahan Yang Dibutuhkan PLTS	35
Tabel 3.2 Bahan-Bahan Yang Digunakan PLT- Angin Type Vertikal	36
Tabel 4.1 Ringkasan Biaya PLTS	43
Tabel 4.2 Ringkasan Biaya PLT-Angin	44
Tabel 4.3 Besar Biaya Tetap, Biaya Tidak Tetap Dan Nilai SisaDari Komponen Biaya PLTS	45
Tabel 4.4 Besar Biaya Tetap, Biaya Tidak Tetap Dan Nilai SisaDari Komponen Biaya PLT-Angin	46
Tabel 4.5 Nilai Pengembalian Pada Tahun Ke 10	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di jaman modern ini perkembangan teknologi semakin cepat, karena meningkatnya kebutuhan agar teknologi dapat menjadi solusi untuk memecahkan permasalahan manusia, baik akibat keterbatasan manusia itu sendiri maupun faktor lainnya. Masalah yang sering muncul di lingkungan rumah tangga yaitu pemborosan pemakaian listrik. Hampir semua pengguna peralatan elektronik di rumah tangga tidak mengetahui berapa arus listrik dan biaya yang sudah terpakai saat menggunakan peralatan tersebut. Karena semakin banyak pemakaian listrik maka semakin banyak pula pengeluaran yang harus ditanggung. Teknologi membuat segala sesuatu yang dilakukan agar menjadi lebih mudah. Manusia selalu berusaha untuk menciptakan sesuatu yang dapat mempermudah aktivitasnya. Hal inilah yang mendorong perkembangan teknologi yang telah banyak menghasilkan alat sebagai piranti untuk mempermudah kegiatan manusia bahkan menggantikan peran manusia dalam suatu fungsi tertentu.

Kesedian sumber energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang salah satu penyebab krisis energi di dunia. Fenomena ini juga berdampak pada sektor energi listrik dunia yang menuju ambang kritis dikarenakan pemenuhan energi listrik sebagian besar masih disuplai dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi fosil. Dengan mempertimbangkan rasio.

Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa khususnya di sumatra utara mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi surya

rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² dan energi angin dengan intensitas kecepatan angin rata-rata 4 m/s perhari di seluruh wilayah Indonesia. Berlimpahnya sumber energi surya ini belum dimanfaatkan secara optimal. Di sisi lain, topografi dan geografi wilayah Indonesia tidak memungkinkan kebutuhan listrik dipenuhi melalui jaringan (*grid*) konvensional.

Dengan mempertimbangkan rasio elektrifikasi di Indonesia sampai dengan tahun 2012 sebesar 75,83 % [1] dan Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 yang memberikan sasaran peningkatan pencapaian energi baru terbarukan pada tahun 2025 menjadi 5 % [2] maka perlu upaya melakukan diversifikasi energi pada pembangkit tenaga listrik dengan memprioritaskan pemanfaatan energi baru terbarukan secara optimal dengan tetap memperhatikan aspek teknis, ekonomi, dan keselamatan lingkungan hidup, sehingga sumber energi baru terbarukan dapat dijadikan sebagai solusi energi alternatif dalam mengatasi krisis energi listrik di Indonesia. Pertumbuhan ekonomi dan permintaan kebutuhan akan tenaga listrik yang terus meningkat perlu diimbangi dengan usaha penyediaan tenaga listrik yang mencukupi. Usaha penyediaan tenaga listrik meliputi usaha pembangkitan, transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik [3]. Ketersediaan suplai tenaga listrik secara kontinyu dengan mutu yang baik dan memenuhi standar keselamatan ketenagalistrikan sangat diperlukan guna mewujudkan sistem ketenagalistrikan nasional yang berkelanjutan, andal, aman dan akrab lingkungan.

Letak geografis sumatra utara mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi surya rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² dan energi angin dengan intensitas kecepatan angin rata-rata 4 m/s perhari, Dikondisi ini

cukup layak untuk dimanfaatkan dari sumber energi Hibrid (angin dan surya),hal ini diimplentasikan dalam pembangunan PLTH yang merupakan hasil kerjasama dari perguruan tinggi.

Untuk mengetahui layak tidaknya sistem penilaian utama adalah pada aspek keuangan. Dalam tugas akhir ini dibahas aspek ekonomi dan finansial SKEA yang meliputi biaya investasi, biaya oprasional, Penghitungan laba rugi dan kelayakan lain nya.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah di uraikan maka peneliti menarik untuk meneliti mengenai “*Analisa Ekonomis Prototype Pembangkit Listrik Hybrid (Surya Dan Angin) Di Sumatra Utara*” .

1.2 Rumusan Masalah

Ada pun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana ringkasan biaya perencanaan prototype pembangkit listrik tenaga hybrid ?
2. Bagaimana hasil pemulihan modal dan periode pengembalian modal pada perencanaan prototype pembangkit listrik tenaga hybrid ?

1.3 Tujuan Penelitian

Ada pun tujuan penulisan ini adalah

1. Mengetahui ringkasan biaya ekonomis dan efesien perancangan prototype pembangkit listrik tenaga hybrid.
2. Menganalisa hasil pemulihan modal dan periode pengembalian modal pada perencanaan prototype pembangkit listrik tenaga hybrid.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Analisa ini hanya digunakan untuk analisa ekonomis perancangan prototype pembangkit listrik tenaga hybrid .
2. Analisa ini hanya membahas PLTH berkapasitas kecil.
3. Tidak membahas tegangan input dan output .

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah

1. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang pembangkit listrik tenaga hybrid
2. Sebagai pengganti tenaga listrik pada pln ketika lampu padam
3. Memanfaatkan sinar matahari dan angin

1.6 Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab diantaranya

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penelitian

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab 2 ini membahas landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan dengan studi analisis dan yang akan dilakukan dalam penelitian

Bab 3 Metodeologi Penelitian

Bab ini membahas tentang langkah-langkah dari penelitian serta prosedur dari penelitian

3. Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas penjelasan mengenai data dari hasil penelitian dan analisa terhadap seluruh proses yang berlangsung selama penelitian

4. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan terhadap proses yang berlangsung selama penelitian dan saran yang mendukung penelitian selanjutnya agar dapat memberikan hasil yang lebih baik lagi

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pembangkit listrik tenaga hybrid adalah pembangkit listrik yang terdiri lebih dari satu macam pembangkit listrik dimana menggabungkan beberapa sumber energi yang dapat diperbaharui (renewabel) dengan dan atau yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable). Pembangkit listrik tenaga hybrid merupakan salah satu alternatif sistem yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar, seperti jaringan PLN atau PLTD. Pembangkit listrik ini memanfaatkan renewable energy sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasikan diesel generator sebagai sumber energi cadangan (sekunder). Pada pembangkit listrik tenaga hybrid, renewable energy yang dapat digunakan berasal dari energi matahari, angin, dan lain-lain yang dikombinasikan dengan diesel generator sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplay kebutuhan energi listrik.

penelitian tentang Kajian Ekonomis PLT-Angin dan PLTS untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) telah dilakukan dengan ruang lingkup pemanfaatan tenaga angin laut untuk memutar turbin angin vertikal jenis H-Darrieus yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan penerangan di jembatan Suramadu dengan kapasitas beban 79 kW menggunakan jenis lampu high pressure sodium (HPS) dengan masing-masing daya 250 watt (Suramadu, 2009), Perbedaan material antara PJU solar cell dengan PJU konvensional, menyebabkan perbedaan pada sisi teknis (kenyamanan) dan ekonomis (kehematan), resiko investasi

pembangunan dan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Nusa Penida. Penelitian pada kajian yang akan dilakukan adalah kajian analisis tenaga angin dan tenaga surya terhadap energi yang dibangkitkan dengan maksud dan tujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik lampu penerangan jalan umum (PJU) serta analisis ekonomi biaya investasi yang dikeluarkan dengan hasil yang diperoleh dari investasi PLT-Angin stand alone dan PLTS stand alone di Kabupaten Ketapang [2].

Penelitian selanjutnya dilakukan Analisa teknis dan ekonomis penggunaan wind turbine dan solar cell pada kapal perikanan Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan tipe dan ukuran wind turbine dan solar cell yang optimum serta memiliki biaya investasi yang rendah dari beberapa variasi wind turbine. Analisis solar cell diasumsikan dilakukan pada intensitas cahaya yang konstan dan maksimum yaitu sebesar 1000 watt/m². Analisis wind turbine yang dilakukan adalah pada kecepatan kapal 7 knot, kecepatan angin 10,686 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada wind turbine sebesar 12,77 knot dengan sudut serang angin terhadap wind turbine (angle of attack, α) adalah 180 (arah angin berlawanan dengan arah kapal). Dari hasil analisa didapatkan wind turbine yang optimum untuk dipasang di kapal adalah tipe sumbu horisontal dengan diameter rotor 3,6 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 2 unit dan solar cell yang dapat dipasang adalah sebanyak 3 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan wind turbine sebesar 0,684 Kn sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan kapal sebesar 1,09 knot. Dengan total biaya investasi dan operasional awal yaitu Rp.243.088.294,

pemasangan wind turbine dan solar cell ini dapat menghemat biaya sebesar Rp.183.384.000 per tahun[3]

Penelitian selanjutnya dilakukan Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) merupakan software yang dikembangkan oleh US National Renewable Energy Laboratory (NREL) untuk mendesain sistem micropower serta untuk memfasilitasi perbandingan teknologi pembangkit tenaga listrik. HOMER memodelkan sistem tenaga berdasarkan perilaku secara fisik dan biaya secara keseluruhan dimana total biaya secara keseluruhan yaitu biaya pemasangan, biaya operasi. HOMER memperbolehkan pemodel untuk membandingkan berbagai macam bentuk desain sistem secara teknis dan ekonomi[4]

Penelitian selanjutnya dilakukan Perencanaan Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On-Grid Energi listrik mengambil peran yang sangat penting bagi penunjang kehidupan manusia. Sel surya merupakan salah satu solusi energi baru terbarukan yang memiliki potensial besar untuk digunakan sebagai sumber energi listrik di Indonesia khususnya di kota Dumai. Rata-rata radiasi matahari bulanan pada permukaan horizontal di Kota Dumai dalam setahun adalah sebesar 4.81 kWh/m²/hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui analisis teknis PLTS menggunakan data beban penerangan di Gedung Terpadu PT. Pertamina RU II Dumai sebesar 496 kWh untuk menentukan kapasitas sistem PLTS mencakup modul PV, dan inverter sentral, perhitungan biaya, simulasi menggunakan software PVsyst dan analisis ekonomi. Analisis ekonomi digunakan untuk mengevaluasi keberlangsungan pengoperasian PLTS

menggunakan beberapa metode, yaitu NPW (Net Present Worth), CF (Cash Flow analysis), B-CR (Benefit–Cost Ratio analysis), dan PP (Payback Period). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan untuk memenuhi beban harian sebesar 496 kWh dapat disuplai dari sistem PLTS dengan kapasitas photovoltaic array sebesar 517 kWp, dan inverter sebesar 100 kW. Nilai CFB sebesar Rp.108.943.024.578, CFC sebesar Rp.23.263.500.042, NPV sebesar Rp.85.679.524.536, BCR sebesar 30,9 dan PP selama 17,5 tahun[5]

Dibahasa pada Perencanaan Dan Manajemen Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin/Surya/Fuel Cell) Pulau sumba menggunakan Software Homer : Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) adalah integrasi sistem pembangkit listrik berbasis energi fosil (tak terbarukan) dan pembangkit listrik terbarukan. Tujuan utamanya untuk menghemat pemakaian bahan bakar dan mengurangi emisi terutama CO₂. Secara menyeluruh, integrasi pada sistem PLTH ini merupakan sistem yang multi variabel sehingga digunakan bantuan perangkat lunak, dalam hal ini HOMER versi 2.68. perangkat lunak ini mengoptimasi berdasarkan nilai NPC terendah. Dengan studi kasus optimasi sistem PLTH di Pulau Sumba propinsi Nusa Tenggara Timur, diintegrasikan Fuel Cell, PLTB dan PLTS. Pada kondisi yang optimum ini, Homer Menentukan dan menghitung kontribusi ketiga pembangkit dengan nilai bersih sekarang (net present cost, NPC), biaya pembangkitan listrik (cost of electricity, COE) emisi CO₂ yang dihasilkan sistem kg/tahun [6].

Radiasi matahari dan data angin di pulau pada tahun 2009 tercatat untuk penelitian. Perangkat lunak HOMER digunakan untuk melakukan simulasi dan melakukan evaluasi tekno-ekonomi. Ribuan kasus telah dilakukan untuk

mencapai konfigurasi sistem otonom yang optimal, dalam hal biaya neto sistem (NPC) dan biaya energi (COE). Analisis rinci, deskripsi dan kinerja yang diharapkan dari sistem yang diusulkan disajikan. Selain itu, efek dari ukuran panel PV, ukuran turbin angin dan kapasitas bank baterai pada keandalan sistem dan kinerja ekonomi diperiksa. Akhirnya, analisis sensitivitas pada konsumsi beban dan sumber daya energi terbarukan dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan analisis ekonomi dan mengidentifikasi variabel mana yang memiliki dampak terbesar pada hasil. Hasilnya menunjukkan kelayakan tekno-ekonomi menerapkan sistem angin-baterai matahari untuk memasok listrik untuk ini island[7]

Selanjutnya dilakukan An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai potensi energi angin untuk kota Zahedan di bagian tenggara Iran. Data angin selama lima tahun (2003-2007) telah dianalisis untuk mendapatkan kepadatan tenaga angin dan potensi energi angin. Fungsi kepadatan Weibull telah digunakan untuk menentukan kerapatan daya angin dan energi wilayah tersebut. Berarti tahunan Weibull parameter, k dan c , adalah 1,155 dan 3,401 (m / s). Diperoleh kekuatan angin dan kepadatan energi adalah 89,184 W / m², dan 781.252 kWh / m² masing-masing. Singkatnya, evaluasi ekonomi dan analisis empat turbin angin yang berbeda disajikan dalam makalah ini. Untuk memanfaatkan energi angin, direkomendasikan untuk memasang model turbin angin Proven 2.5 kW di wilayah ini yang merupakan opsi paling hemat biaya.[8]

Dalam Techno-economic analysis of wind turbine-PEM (polymer electrolyte membrane) fuel cell hybrid system in standalone area, Bahwa evaluasi tekno-ekonomi sistem hibrida angin-hidrogen (turbin angin, elektrolisis, dan PEM

(polimer elektrolit membran) sel bahan bakar) dalam ukuran rumah tangga akan dipertimbangkan. Untuk menghemat energi ekstra turbin angin, elektrolisis digunakan untuk mengubah energi ini menjadi energi kimia hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan disimpan dalam tangki penyimpanan hidrogen. Sel bahan bakar PEM diterapkan untuk mengubah energi kimia hidrogen menjadi daya listrik dengan efisiensi tinggi ketika diperlukan daya ekstra.[9]

Potensi sistem angin hibrida / energi surya di daerah pantai barat Arab Saudi dianalisis dalam penelitian ini. Investigasi menempatkan penekanan pada produksi energi dan biaya energi dari kedua turbin angin dan fotovoltaik (PV) dalam sistem hibrida. Beban listrik yang tidak terpenuhi dan kelebihan listrik dipertimbangkan. Iradiasi matahari tahunan rata-rata dan kecepatan angin yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah $5,95 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{hari}$ dan $3,53 \text{ m} / \text{s}$, masing-masing. Perangkat lunak MATLAB dan HOMER digunakan untuk melakukan analisis teknis dan ekonomi dari sistem hibrida. Seperti yang ditunjukkan dari hasil simulasi, array PV berbagi produksi listrik lebih dari generator turbin angin jika kedua turbin angin dan array PV digunakan dalam sistem hibrida angin / matahari dengan ukuran yang sama. Biaya energi angin yang terukur adalah $\$ 0,149 / \text{kWh}$, yang lebih mahal daripada energi surya $\$ 0,0637 / \text{kWh}$. Biaya energi dari sistem hibrida didominasi oleh baterai dan biaya turbin angin[10]

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) merupakan gabungan antara dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Umumnya pembangkit listrik berbasis energi terbarukan dalam pengoperasiannya di hybrid dengan energi pembangkit listrik yang berasal dari fosil. PLTH bisa menjadi solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak dengan tujuan untuk mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus untuk menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu sehingga dapat dicapai keandalan suplai, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. PLTH juga bisa memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber energi primer yang dikombinasikan dengan jaringan PLN yang sudah ada. Adapun skema pembangkit hibrid dapat dilihat pada Gambar 1 [4]. Untuk menganalisis semua kondisi dan kendala dari sistem hybrid berbasis energi terbarukan dirancang pembangkit energi yang mampu mengurangi biaya pembangkitan dan membantu dalam menyeimbangkan. Pembangkit tenaga hybrid ini memiliki beberapa kelebihan dari konfigurasi yaitu:

- a. Dapat menjadi solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar fosil.
- b. Dapat memenuhi beban listrik secara optimal terutama pada daerah-daerah yang tidak tersaluri oleh jaringan PLN.
- c. Meningkatkan efisiensi ekonomi pembangkit.
- d. Meningkatkan keandalan (reliability) sistem pembangkit.
- e. Meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis.
- f. Meningkatkan umur oprasi sistem.
- g. Tidak menimbulkan polusi dan limbah (ramah lingkungan)

- h. Biaya pengoprasian dan pemeliharaannya relatif murah.
- i. Biaya produksi energi listrik atau *cos of energy* (Rp/kwh) pertahun relatif murah.

Di samping kelebihan-kelebihan di atas konfigurasi simtem pembangkit listrik hybrid juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya:

- a. Produksi energi baru terbarukan sangat tergantung pada sistem alam
- b. Tidak dapat menangani beban puncak dengan baik tanpa menyimpan energi.



Gambar 2.1 Diagram PLTH (surya dan angin)

(Sumber: <https://rizqithewinner.blogspot.com>)

2.3 Sel Surya

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic (PV). Photo merujuk kepada cahaya dan voltaic merujuk kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk

menjelaskan selektronik yang memproduksi energy listrik arus searah dari energy radian matahari. Photovoltaic cell dibuat dari material semikonduktor terutama silicon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka electron akan terlepas dari atom silicon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energy listrik dapat di bangkitkan. Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energy listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan seperti yang dinyatakan oleh (John Wiley:2004). Untuk kerja dari photovoltaic cell sangat tergantung kepada sinar matahari yang diterimanya. Kondisi iklim (misal awan dan kabut) mempunyai efek yang signifikan terhadap jumlah energy matahari yang diterima sel sehingga akan mempengaruhi pula untuk kerjanya seperti dibuktikan dalam penelitian (Youness dkk, 2005)[2]

2.3.1 Keuntungan dan kerugian sel surya

a. Keuntungan

Sel surya dapat memberikan keuntungan dibandingkan dengan sumber tenaga lainnya, Seperti generator disel, fosil dan lai-lain. Berikut adalah keuntungannya:

1. Tidak membutuhkan bahan bakar untuk beroperasi. Hal ini menguntungkan karna tidak menyebabkan gangguan pada lingkungan karena tidak menyebabkan polusi akibat proses pemakaian bahan bakar, dan tidak mengeluarkan suaramesin yang bergerak sehingga tidak mengganggu lingkungan.

2. Sel surya sudah memiliki ketahanan dan kesetabilan yang sudah teruji waktu oprasinya yang cukup lama.
3. Sel surya dapat dibangun dengan mudah di daerah terpencil dan dapat di pindahkan peletakannya.

b. Kerugian

Di samping memiliki keuntungan sel surya juga memiliki beberapa kerugian, yaitu:

1. Terlalu bergantung oleh matahari sehingga dapat berpengaruh pada keadaan cuaca dalam produksi listriknya.
2. Biaya pembangunan cukup mahal.
3. Membutuhkan komponen tambahan untuk mengonversi dan memperbesar out put listrik

2.3.2 Jenis Sel Surya

a. Monokristal

Sel surya yang terdiri atas p- n *junction* monokristal silicon atau yang disebut juga *monocrystalline pv*, mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Efisiensi sel fotovoltaik jenis silicon monokristal mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16 sampai 17%. Berikut contoh modul fotovoltaik (pv) jenis monokristal ini terlihat pada gambar2.1

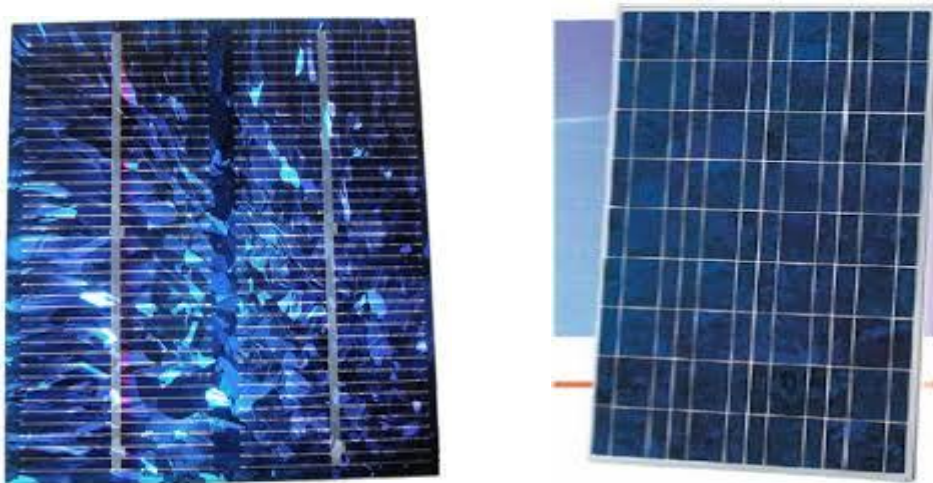


Gambar 2.2 *fotovoltaik*

(Sumber:<https://teknologisurya.wordpress.com>)

b. Polikristal

Polokristal pv atau sel surya yang bermateri prokristal dikembangkan atas mahalnya materi prokristal perkilogram. Efisiensi konversisel surya jenis silicon polikristal berkisar antara 12% hingga 15%. Berikut contoh modul fotovoltaik jenis polikristal seperti terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.3 *Polikristal*

(Sumber:<https://generasiosolar.com>)

c. *Amorfous*

Sel surya bermateri amorphous silicon merupakan teknologi fotovoltaik dengan lapisan tipis atau thin film. Ketebalannya sekitar 10 micron dalam bentuk modul surya efisiensi sel dengan *silicon amorfous* seperti yang terlihat pada gambar 2.3



Gambar 2.4 *amorfous*

(Sumber: <https://armand10dma.blogspot.com>)

2.3.3 Karakteristik Sel Surya

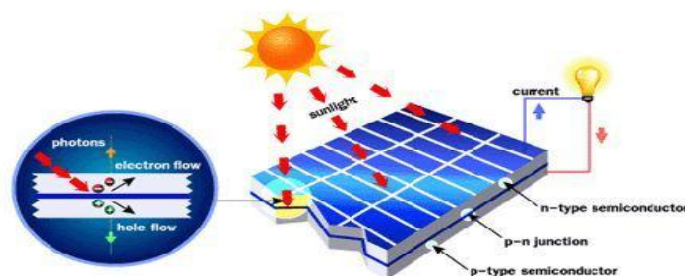
Sel Surya diproduksi dari bahan semikonduktor berupa silikon yang berperan sebagai insulator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas, secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt — max. 600 mV pada 2 amp , dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 =$ "1 Sun" akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya. Sel Surya akan menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol, I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai

arus nol, Voc naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan Sel Surya untuk mengisi accu Efisiensi solar sel (η) adalah perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya dengan daya pancaran (radiant) pada bidang sel surya.

$$\eta = \frac{I_{MPP}}{(intensitas\ cahaya)(luas\ panel)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

2.3.4 Cara Kerja Sel Surya

Cahaya yang jatuh pada sel suryamenghasilkan elektron yang bermuatan positif dan hole yang bermuatan negative kemudian elektron dan hole mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini di kenal sebagai prinsip photoelectric. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p). Karena sel surya ini mudah pecah dan berkarat sehingga sel ini dibuat dalam bentuk panel-panel dengan ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air dan panel ini dikenal dengan panel surya.[3]



Gambar 2.5 Cara kerja sel surya

(Sumber : <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>)

2.3.5 Spesifikasi sel surya 50 wp

Tabel 2.1 Spesifikasi Sel Surya 50 Wp

Spesifikasi	Keterangan
Max. Power (Pmax)	50W
Max. Power Voltage (Vmp)	16.5V
Max. Power Current (Imp)	3.34A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.1V
Short Circuit Current (Isc)	4.23A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	45±2°C
Max. System Voltage	1000V
Max. Series Fuse	16A
Weight	6.5Kg
Dimension	775 x 680 x 28 mm

2.3.6 Bahan Sel Surya

1. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif

tapi juga transparan seperti indium tin oxide (ITO) dan flourine doped tin oxide (FTO).

2. Material Semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material Cu(In,Ga)(S,Se)_2 (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang sedang dalam penelitian intensif seperti $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ (CZTS) dan Cu_2O (copper oxide).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya.

3. Kontak Metal / Contact Grid

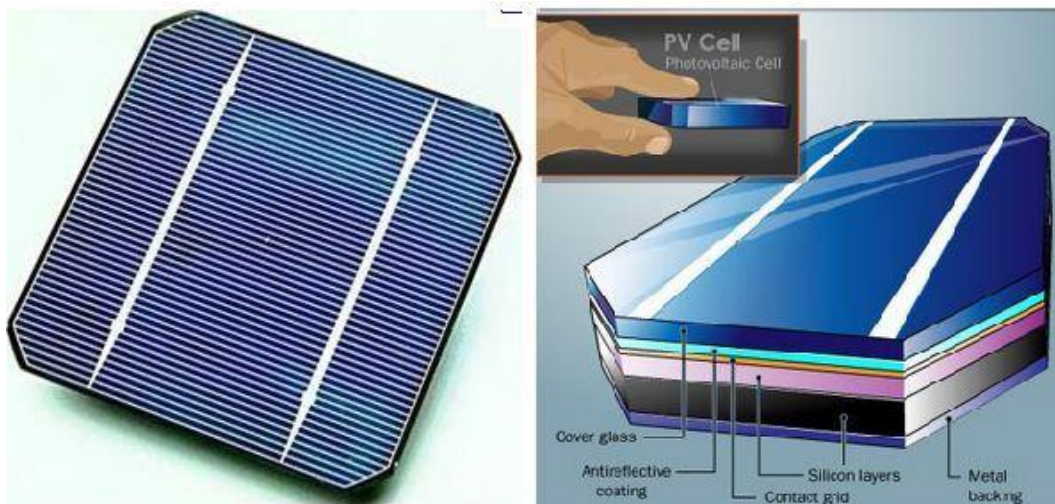
Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

4. Lapisan Antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

5. Enkapsulasi / Cover Glass

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.



Gambar 2.6 Enkapsulasi / Cover Glass

(Sumber : <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>)

2.4 *Solar Charger Controller*

Solar charger controller adalah sebuah perangkat atau komponen pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terminal diantaranya: terminal untuk panel surya, terminal untuk baterai, terminal untuk beban. Ketiga terminal tersebut dilengkapi dengan polaritas yaitu tanda negatif (-) dan tanda positif (+) yang jelas agar tidak terjadi kesalahan. *Solar Charger Controller* berfungsi mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai, apabila baterai sudah penuh maka listrik dari panel surya tidak akan dialirkan ke baterai dan sebaliknya. Dan dari baterai ke beban, apabila listrik dalam baterai tinggal 20- 30%, maka listrik ke beban otomatis dimatikan. Jika solar charge ini tidak digunakan maka kerusakan pada baterai akan sangat rentan karena tegangan keluaran yang dihasilkan oleh panel surya biasanya berkisaran di antara 16-20 Volt DC sedangkan baterai hanya membutuhkan tegangan pada saat pengisian berkisaran di antara 13-14,8 Volt DC. Maka dari itu keberadaan solar charge control ini sangat dibutuhkan agar kerusakan yang terjadi nantinya dapat diminimalisir.

Sistem kerja dari *solar charge control* ini adalah sebagai berikut :

- a. Pada saat tegangan pengisian baterai telah penuh maka control akan menghentikan suplai tegangan ke baterai , selanjutnya tegangan yang dihasilkan bisa langsung didistribusikan ke beban.
- b. Pada saat *voltage* pada baterai akan kosong maka *control* akan menghentikan pengambilan arus listrik pada baterai yang akan digunakan oleh beban. Pada saat *voltage* tertentu (umumnya 10% *voltage* yang tersisa pada baterai), maka pemutusan arus akan langsung dilakukan oleh *controller*.



Gambar 2.7 Solar Charger

(Sumber : <http://www.panelsurya.com/index.php/id/solar-controller/12-solar-charge-controller-solar-controller>)

2.5 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*.

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui

(Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Turbin angin terbagi 2 kelompok yaitu:

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin ini biasanya memiliki dua atau tiga *blade* dalam penggunaannya. Turbin sumbu horizontal memiliki poros utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana. Sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, sehingga turbin harus diarahkan melawan arah angin. Bilah-bilah dibuat kaku agar tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi.



Gambar 2.7 Turbin Angin Horizontal

(Sumber: <https://rdomanik.blogspot.com>)

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin ini merupakan turbin yang dapat menerima angin dari segala arah selain itu juga mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah. Turbin ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal. Komponen turbin angin terdiri dari rotor dengan sudu sebagai penggerak utama, generator sebagai pengubah energi

mekanik menjadi energi listrik, dan sayap/ekor yang berfungsi sebagai pengubah arah dan perangkat sistem kontrol elektrik.



Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbuh Vertikal

(<https://indonesian.alibaba.com>)

Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai 100% efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada, dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali, yang artinya tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi. Besarnya energi angin yang dapat dikonversi menjadi daya dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

P = daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*

A = *swept area wind turbine*

ρ = massa jenis udara

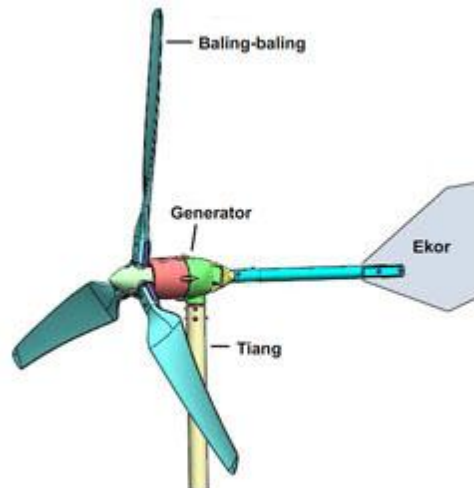
η = efisiensi *wind turbine* V = kecepatan angin

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika

faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10 - 30% energi angin yang bisa di konversikan ke listrik.

2.5.1 Komponen Turbin Angin

Dalam mengonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Khusus untuk turbin dengan kapasitas kecil di hindarkan dari pemakaian gearbox karena gearbox bisa menyebabkan bertambah beratnya turbin sehingga untuk mengubah arah turbin di butuhkan angin yang kencang untuk menerpa ekor yang berfungsi untuk mengarahkan arah turbin ke angin. Selain itu brake juga di hindari karena untuk turbin kapasitas kecil rata-rata di gunakan untuk kecepatan angin yang rendah, jadi ketika di tambah dengan komponen brake yang memiliki gaya gesekan di brake meskipun dalam keadaan tidak mengerem gaya gesekan tersebut tetap ada, hal ini mengakibatkan putaran turbin semakin berat. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:

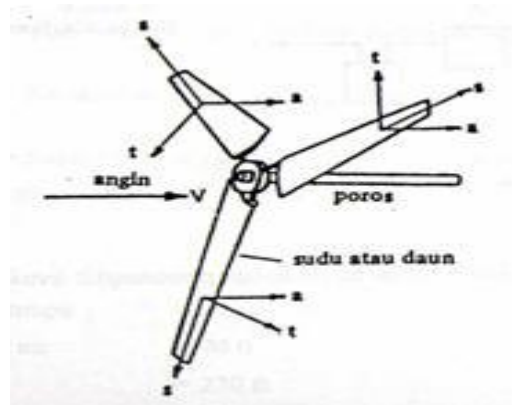


Gambar 2.9 Komponen Turbin Angin Kecil

(Sumber : <http://mit.ilearning.me/kincir-angin-pembangkit-listrik/>)

1. Sudu

Sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar. menggunakan prinsip-prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat



Gambar 2.10 Gaya-gaya angin pada sudu (Eri Prasetyo.2002)

(Sumber: <https://web.ipb.ac.id>)

Pada prinsipnya gaya-gaya angin yang bekerja pada sudu-sudu kincir sumbu horizontal terdiri atas tiga komponen yaitu:

- a. Gaya aksial (a), yang mempunyai arah sama dengan angin, gaya ini harus ditampung oleh poros dan bantalan.
- b. Gaya sentrifugal (s), yang meninggalkan titik tengah. Bila kipas bentuknya simetris, semua gaya sentrifugal s akan saling meniadakan atau resultannya sama dengan nol.
- c. Gaya tangensial (t), yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif

Energi kinetik angin diperoleh berdasarkan energi kinetik sebuah benda dengan massa m , kecepatan v , maka rumus energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = 0.5 m v^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

E = Energi Angin

m = Massa benda

v = kecepatan

sementara efisiensi turbin dapat di hitung dengan persamaan berikut

$$\eta \text{ turbin} = \frac{\text{Daya yang dihasilkan}}{0,5\rho Av^3} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

A = *swept area wind turbine*

ρ = massa jenis udara

η = efisiensi *wind turbine*

V = kecepatan angin

2. Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen sistem terangkai sudu, poros, dan generator .

3. Ekor

Ekor pada wind turbin berguna untuk mengubah posisi generator dan turbin agar sesuai dengan arah datangnya angin, ekor juga bisa berfungsi untuk melakukan furling atau penggulungan yang berfungsi untuk melambatkan putaran turbin saat terjadi angin yang memiliki batas kecepatan putaran dengan cara menekuk ekor agar arah angin tidak mendarat pada bagian samping turbin hal ini menyebabkan turbin berputar pelan kalena arah angin tidak pas di tengah turbin.

2.6 Generator

Ini adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya, (mengacu pada salah satu cara kerja generator) poros pada generator dipasang dengan material *ferromagnetic* permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisis nya 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 untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini

berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

2.7 Baterai

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*Direct Current*) untuk meng-charge/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasi keperluan ini.

2.8 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah sesuai kebutuhan.

Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya gelombang sinus. Tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena adanya harmonisa. Inverter di bagi menjadi 2 macam yaitu, inverter satu fase dan inverter tiga fase. Dan menurut jenis gelombangnya ada tiga jenis inverter yang ada di pasaran yakni; inverter gelombang sinus, gelombang sinus termodifikasi, dan inverter gelombang kotak. Berikut formula untuk menghitung kapasitas inverter (rashid. 1993):

$$P_{\text{inverter}} = P_{\text{max}} \times 125\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

$$P_{\text{inverter}} = \text{Daya inverter (Watt)}$$

$$P_{\text{max}} = \text{Beban puncak (Watt)}$$

$$125\% = \text{Kompensasi}$$

2.9 Metode Analisis Ekonomi Teknik

1. *Capital Recovery Cost (CR)*

Capital Recovery Cost (CR) dari suatu investasi adalah deret seragam dari modal yang tertanam dalam suatu investasi selama umur dari investasi tersebut. Nilai CR bisa digunakan untuk melihat apakah suatu investasi akan memberikan pendapatan yang cukup untuk menutupi modal yang dikeluarkan termasuk bunga yang mestinya dihasilkan pada tingkat MARR selama umur dari investasi tersebut. Nilai sisa dalam suatu perhitungan CR dianggap sebagai pendapatan sehingga formulasi pemulihan modal (CR) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Investasi Awal} = P_w (A_w/P_w, i\%, N) \dots \dots \dots (2.6)$$

$$= P_w \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$\text{Biaya Pemeliharaan} = 2,5\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Sisa} &= Fw (Aw/Fw, i\%, N) \dots\dots\dots(2.8) \\ &= Fw \times \frac{i}{(1+i)^{N-1}} \end{aligned}$$

$$CR = (\text{Biaya investasi awal}) + (\text{Biaya Pemeliharaan}) - (\text{Nilai Sisa})$$

Atau

$$CR(i) = Pw(Aw/Pw, i\%, N) + Aw - Fw(Aw/Pw, i\%, N) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$CR(i)$ = Ongkos pemulihan pada MARR sebesar i %

Pw = Modal yang di tanamkan sebagai investasi awal

Fw = Estimasi nilai sisa pada tahun ke N

N = Estimasi umur investasi di tetapkan

2. Metode Periode Pengembalian (*Payback Period*)

Pada dasarnya periode pengembalian (*Payback Period*) adalah jumlah periode (tahun) yang diperlukan untuk mengembalikan (menutup) ongkos investasi awal dengan tingkat pengembalian tertentu. Perhitungannya dilakukan berdasarkan aliran kas baik tahunan maupun yang merupakan nilai sisa. Untuk mendapatkan periode pengembalian pada suatu tingkat pengembalian (*rate of return*) tertentu digunakan model formula berikut: Apabila Aw sama dari satu periode keperiode yanglain (deretseragam) maka persamaan dapat dinyatakan berdasarkan factor PW / AW adalah :

$$\begin{aligned} \text{Nilai sisa} &= Fw (Aw/Fw, i\%, N) \\ &= Fw \times \frac{i}{(1+i)^{N-1}} \dots\dots\dots(2.10) \end{aligned}$$

Dimana

Fw = Estimasi nilai sisa pada tahun ke N

AW = Nilai deret seragam

N = Estimasi umur investasi di tetapkan

Apabila suatu alternatif memiliki masa pakai ekonomis lebih besar dari periode pengembalian N maka alternatif tersebut layak diterima. Sebaliknya, bila N lebih besar dari estimasi masa pakai suatu alat atau umur suatu investasi maka investasi atau alat tersebut tidak layak diterima karena tidak akan cukup waktu untuk mengembalikan modal yang dipakai sebagai biaya awal dari investasi tersebut.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Adapun penelitian ini dilaksanakan laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jln. Kapten Muchtar Basri no.3 Medan. dan dalam melakukan penelitian tentang Analisa Ekonomi Prototype Pembangkit Listrik Hybrid (Surya dan Angin) di Sumatera Utara.

3.2 Alat Dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian Analisa Ekonomi Prototype Pembangkit Listrik Hybrid (Surya dan Angin) di Sumatera Utara adalah sebagai berikut.

3.2.1 Alat Yang Digunakan

Dalam melakukan analisa ini ada beberapa alat yang dipergunakan antara lain sebagai berikut :

1. Mesin trafo las inverter 900Watt, untuk mengelas konstruksi Bangun PLTH (surya dan angin)
2. Mesin gerinda 4", untuk memotong besi bahan yang digunakan
3. Mesin bor listrik, untuk melubangi bagian dari PLTH (surya dan angin)
4. Anemometer digital, Berfungsi untuk mengukur kecepatan angin dan suhu lingkungan
5. Meteran, untuk mengukur panjang bahan yang akan digunakan.
6. Multi tester, untuk mengukur dan mengetahui tegangan yang dihasilkan dari PLTH (surya angin).

7. Tang kombinasi, sebagai media jepit
8. Tang potong, untuk memotong kabel
9. Obeng plus (+) minus (-), untuk mengunci skrup
10. Kunci ring dan pas, untuk mengunci baut

3.2.2 Bahan-Bahan Yang Dibutuhkan

Adapun bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan prototype pemangkit listrik tenaga hybrid (surya dan angin) dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Bahan-Bahan Yang Dibutuhkan PLTS

NO	Bahan	Fungsinya
1	Sel surya 50WP	Sebagai alat pengubah energi matahari menjadi energi listrik
2	Solar charger	Pengatur tegangan dan arus listrik keluaran dari sel surya menuju batrai
3	Batrai	Media penyimpanan arus listrik
4	Kabel	Media penhubung kompen ke komponen lain
5	Besi siku	Sebagai rangka dudukan sel surya
6	Baut + mur 6mm	Pengikat sel surya dengan rangka
7	Baut + mur 8mm	Pengikat rangka sel surya dengan tower turbin angin
8	Baut + mur 4mm	Pengikat komponen kontrol
9	Cat minyak warna biru	Untuk mengecat rangka sel surya
10	Buck converter	Pensingkron arus dari PTLIS dan PLTA
11	Volt + ampere meter	Sebagai indikator
12	Stop kontak	Sebagai Terminal beban
13	Fuse 10A	Pengaman komponen jika terjadi hubungan singkat
14	Terminal	Sebagai tempat penghubung kabel
15	Saklar	Sebagai pemutus dan penghubung arus listrik
16	Cable duct	Jalur kabel
17	Inverter	Merubah Arus DC menjadi AC
18	Aktuator	Pengerak sel surya

Tabel 3.2 Bahan-Bahan Yang Digunakan Turbin Angin Type Vertikal

NO	Bahan	Fungsi
1	Motor DC type GR53X58	Sebagai generator yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik
2	Besi siku 40 mm	Sebagai tower turbin angin
3	Pipa galvanis 1/2inchi	Sebagai as atau rotor turbin
4	Plat strip 4mm x 19mm	Sebagai tulangan dudukan sudu turbin angin dan sel surya
5	Plat strip 7 x 70 x 70 mm	Sebagai alas kaki pada tower turbin angin dan sel surya
6	Plat bearing Ø 20 mm	Sebagai bantalan as rotor turbin angin
7	2 buah besi plat 4 x 230 x 300 mm	Sebagai dudukan plat bearig
8	Besi plat lingkaran tebal 1mm Ø 13cm	Sebagai tempat dudukan plat strip tulangan turbin
9	Baut + mur 10 mm	Untuk pengikat tiang penyangga dibody turbin angin
10	Baut + mur 8 mm	Untuk mengikat sudu turbin pada plat strip tulangan turbin
11	Talang air 8 inchi	Sebagai sudu turbin angin
12	Tutup dop talang air 8 inchi	Sebagai stoper bagian atas dan bawah pada sudu turbin angin
13	Sekrup gypsum	Untuk mengunci tutup dop dengan talang air
14	Belting	Sebagai alat penghubung pulley untuk memutar generator
15	Lingkar sepeda Ø 23 cm	Sebagai pulley untuk memutar generator
16	Kabel listrik	Untuk menghubungkan rangkain turbin angin
17	Kawat las 2,6 mm	Untuk mengelas bangun turbin angin
18	Charger	Pengatur tegangan dari generator menuju batrai
19	Batrai	Media penyimpanan arus listrik
20	Cat minyak warna biru	Untuk mengecat tower turbin angin

3.3 Data Penelitian

Adapun data penelitian yang didapat pada Analisa Ekonomis Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (angin dan surya) sejumlah material yang digunakan dan harga dalam bentuk USD,dapat dilihat pada lampiran 1.

3.4 Jalannya Penelitian

Jalannya penelitian Analisa Ekonomis Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya dan Angin) ini dilakukan dilaboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, pada penelitian ini dilakukan dengan

menggabungkan dua pembangkit listrik PLTS dan PLTA (angin) untuk mengetahui seberapa tingkat ekonomis yang di hasilkan.

Adapun pembangkit tenaga listrik yang dipakai PLTS (pembangkit listrik tenaga surya) Energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan mengubah sinar matahari melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic (PV). Photo merujuk kepada cahaya dan voltaic merujuk kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan selelektronik yang memproduksi energy listrik arus searah dari energy radian matahari. Photovoltaic cell dibuat dari material semikonduktor terutama silicon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka electron akan terlepas dari atom silicon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energy listrik dapat di bangkitkan.

Jenis sel surya yang di pakai adalah sel surya monokristal Sel surya yang terdiri atas p- n junction monokristal silicon atau yang disebut juga monocrystalline pv, mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Efisiensi sel *fotovoltaik* jenis silicon *monokristal* mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16% sampai 17% dan harganya relatif murah, sel surya ini akan dihybrid dengan PLTA (angin).

PLTA(angin) yang dipakai adalah jenis turbin angin savonius (sumbu vertikal), Turbin ini merupakan turbin yang dapat menerima angin dari segala arah selain itu juga mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah. Turbin ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal. Komponen turbin angin terdiri dari rotor dengan sudu sebagai penggerak utama, generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dan sayap/ekor yang berfungsi sebagai pengubah arah dan perangkat

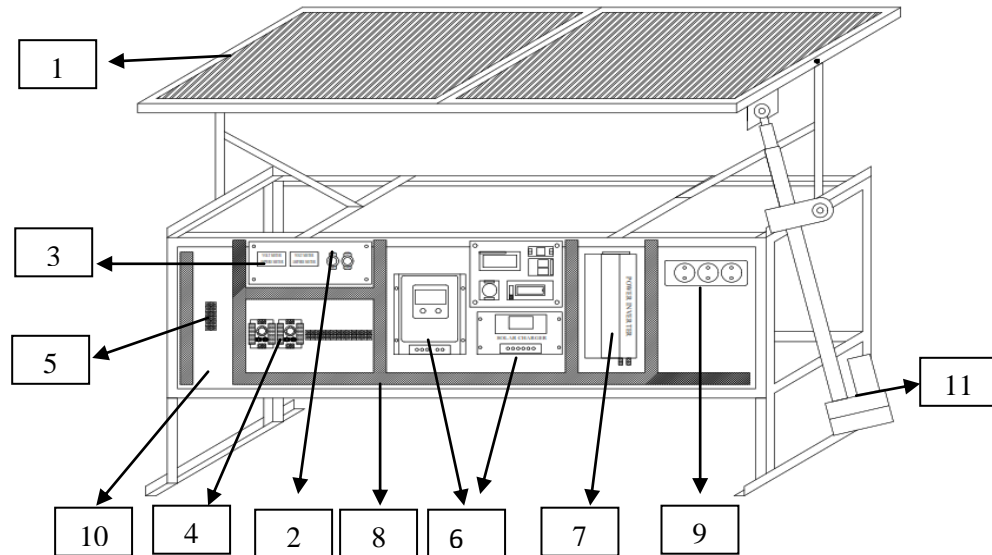
sistem kontrol elektrik, cara kerja turbin angin adalah energi angin yang di rubah menjadi energi gerak oleh turbin angin dan diteruskan oleh rotor menuju generator untuk menghasilkan putaran pada rotor generator untuk menghasilkan energi listrik.

Energi listrik yang di hasilkan dari PLTS dan PLTA (angin) akan di sinkronkan tegangannya dengan menggunakan *solar charger controller*, solar charger controller yang digunakan beban 10-20A yang berfungsi mengatur tegangan dari pembangkit listrik menuju batrai, Pada saat tegangan pengisian batrai telah penuh maka control akan menghentikan suplai tegangan ke batrai , selanjutnya tegangan yang di hasilkan bisa langsung di distribusikan ke beban. Pada saat *voltase* pada batrai akan kosong maka *controll* akan menghentikan pengambilan arus listrik pada batrai yang akan digunakan oleh beban. Pada saat *voltase* tertentu (umumnya 10% *voltase* yang tersisa pada batrai), maka pemutusan arus akan langsung dilakukan oleh *controller*.

Arus listrik yang di keluarkan dari *solar charger controller* akan di suplai ke batrai, batrai yang digunakan untuk menyimpan arus listrik daya penyimpananya 7,5-12 AH, batrai berfungsi sebagai penyimpan arus listrik DC. Dan arus listrik DC akan diteruskan ke inverter, Fungsi inverter adalah untuk mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah sesuai kebutuhan. Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya gelombang sinus. Tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena adanya harmonisa. Inverter di bagi menjadi 2 macam yaitu, inverter satu fase dan inverter tiga fase. Dipenelitian

ini menggunakan inverter satu fase, arus listrik yang sudah diubah menjadi arus AC akan diteruskan ke beban.

3.4.1 Desain PLTS



Gambar 3.1. Karakteristik PLTS dan Sistem Sinkronisasi

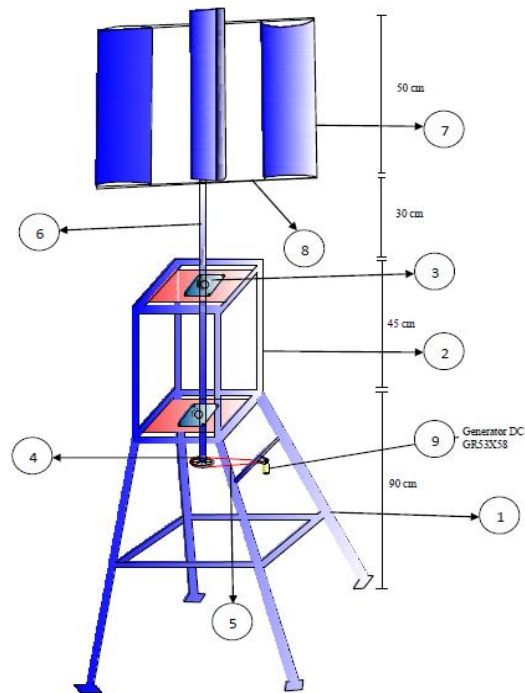
Adapun kerangka *prototipe* PLTS diatas dibuat dengan menggunakan besi siku ukuran 25 mm dan 30 mm, dan prototipe PLTS diatas memiliki dimesi dengan panjang 117 cm, lebar 30 cm dan tinggi 82 cm, dan adapun juga ukuran dari alas panel surya memiliki panjang sebesar 110.5 cm dan lebar 68 cm. Adapun komponen yang terpasang pada prototipe PLTS diatas adalah sebagai berikut :

1. Panel surya / fotofoltaik, sebagai media pengubah energi matahari menjadi energi listrik.
2. Saklar, sebagai pemutus dan penghubung rangkaian sistem.
3. Volt meter dan ampere meter, sebagai alat pengukur tegangan dan arus pada penelitian.
4. *Buck converter*, sebagai pengatur tegangan.

5. Terminal blok, sebagai media penghubung komponen-komponen penelitian.
6. *Solar charger controller*, sebagai Pengatur tegangan dan arus listrik keluaran dari sel surya menuju batrai.
7. *Power inverter*, sebagai pengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC).
8. *Cable Duct* atau jalur kabel, sebagai jalur kabel penghubung tiap komponen.
9. Stop kontak, sebagai media penghubung ke beban percobaan.
10. Baterai, sebagai media penyimpanan energi listrik.
11. *Solar tracking*, sebagai penggerak panel surya mengikuti arah cahaya matahari.

3.4.2 Desain PLTA (Angin)

Desain prototipe PLTA dibuat dengan menggunakan besi siku ukuran 30 mm sebagai menara/tower penyangga turbin, dengan tinngi menara 215 cm. Pipa galvanis ½ inchi sebagai as rotor penngerak pada turbin. Sudu atau kincir turbin terbuat dari talang air dengan ukuran 8 inchi, plat bearing digunakan sebagai bantalan as rotor turbin Dan sebagai pembangkit energi listrik DC digunakan Permanen Magnet DC type GR53X58 *pulley* dan belting digunakan sebagai alat penghhubung atau kopel dari turbin ke generator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Desain Prototype PLT-Angin Menggunakan 6 Sudu *Type Vertikal (SAVIONUS)*

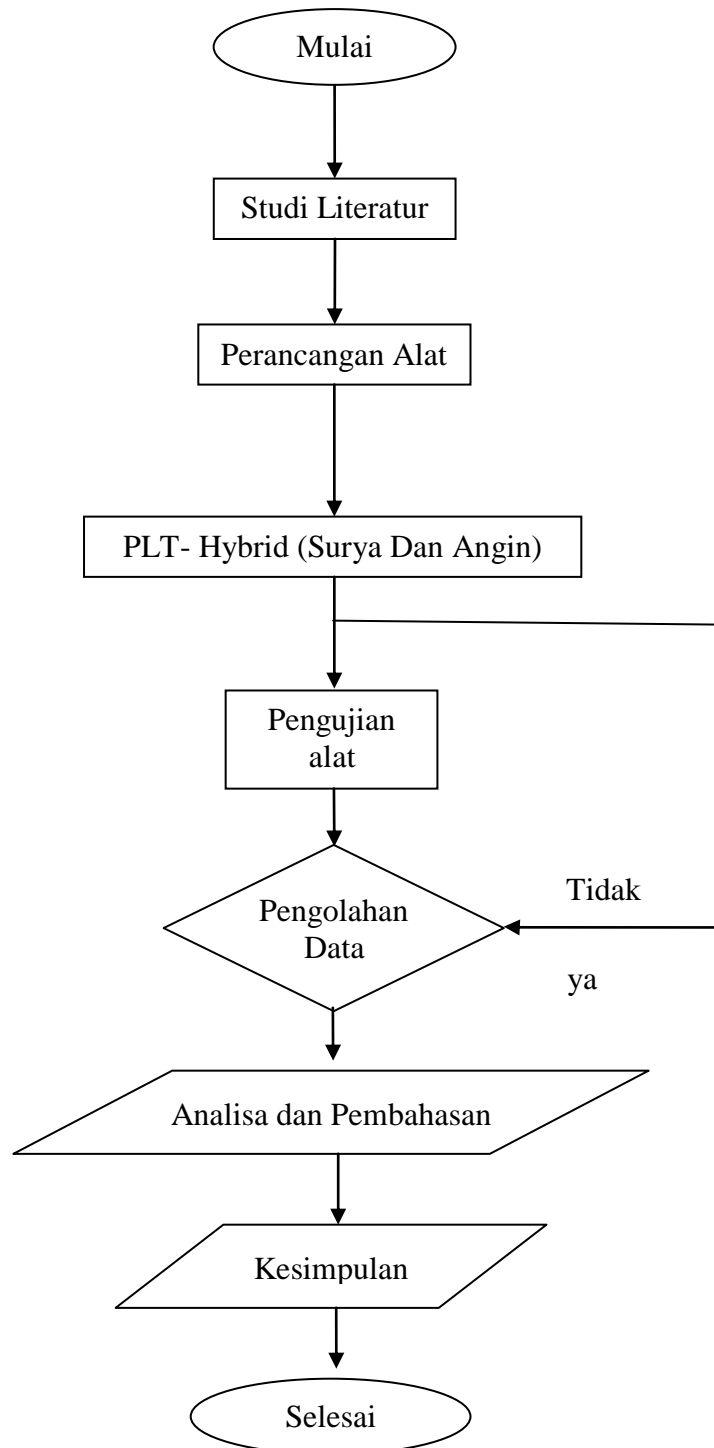
Ketrerangan gambar :

1. Kaki Penyangga, sebagai penyangga turbin yang terbuat dari besi siku 30.
2. Bodi Turbin, sebagai tempat dudukan plat bearing dan juga as rotor turbin, yang juga terbuat dari besi siku 30 dan 2 buah besi plat tebal 4mm (30x23cm), sebagai dudukan bantalan palat bearing bagian atas dan bawah.
3. Plat Bearing, sebagai bantalan as rotor turbin.
4. Pulley, sebagai alat kopel as turbin ke generator.
5. Belting, sebagai penghubung dari pulley ke generator.
6. As Rotor Turbin, terbuat dari pipa galvanis $\frac{1}{2}$ inchi dengan panjang 135 cm.
7. Sudu atau Kincir, terdiri dari dua jenis sudu yang pertama terbuat dari talang air 8 inchi dan yang kedua dari pipa pvc 4 inchi.
8. Dudukan Turbin, terbuat dari plat strip 4 x 19 sebanyak 12 potong.

9. Permanen Magnet DC type GR53X58, sebagai pembangkit energi listrik DC dengan spesifikasi sebagai berikut :

- i. Voltage DC 12 – 40 VDC
- ii. Current : In : 1,9A . Ifm : 20A
- iii. Torque : 17 Ncm
- iv. Maximum Output : 120 W
- v. Torque constant : 6,2 Ncm/A (6,2KgCm)
- vi. Starting current : 0,2A
- vii. Type Motor brushed
- viii. No load current : 0,2A
- ix. Demagnetisation current : 31A
- x. Rotational speed: 3000 rpm (18849.56 -1) max 3300 rpm (20734.51 -1)

Panjang Motor 12.5cm + Poros 2cm, Total 14.5cm



Gambar 3.3 Diagram alir

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rincian Biaya Perencanaan *Prototype* Pembangkit listrik Tenaga *Hybrid* (surya dan angin) Di Sumatera Utara

Setelah mengetahui perancangan secara teknis pembangkit listrik tenaga hybrid (surya dan angin) yang menghitung seberapa banyak biaya yang dibutuhkan untuk Membangun sistem tersebut dengan metode analisis ekonomi teknik. Pada analisis ekonomi ini, Pengambilan data analisis biaya dan waktu sebagai acuan, metode analisis nilai rasio manfaat dan biaya sebagai pokok pembahasan yang menghasilkan analisa biaya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Ringkasan Biaya PLTS

NO	Bahan	Qty	Unit	Harga satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Sel Surya Mono kristalin 50wp	2	Pcs	528,750	1,057,500
2	Inverter	1	Pcs	1,410,000	1,140,000
3	Solar charger 10A	1	Pcs	141,000	141,000
4	Solar charger 20A	1	Pcs	282,000	282,000
5	Batrai 12AH	1	Pcs	493,500	493,500
6	Batrai 7.5AH	1	Pcs	2,354,700	2,354,700
7	Buck Converter	2	Pcs	105,750	211,500
8	volt + Ampere Meter	2	Pcs	29,610	62,040
9	Stop Kontak + Steker	1	Pcs	14,100	14,100
10	Saklar	2	Pcs	9,870	19,740
11	Fuse 10A + Sangkar	2	Pcs	5,640	11,280
12	Cable duct	3	Btg	23,970	71,910
13	Terminal In 13-3 pole 20A	4	Pcs	7,050	28,200
14	Terminal Blok 6Pole 25A	1	Pcs	4,230	4,230
15	Kabel NYAF 2.5	30	Meter	2,820	284,600
16	Besi Siku 25mm	13	Meter	5,640	73,320
17	Besi Siku 30mm	4.6	Meter	7,050	32,430
18	Baut+Mur	102	Pcs	2,820	287,640
19	Solar Treker Set	1	Pcs	282,000	282,000
Total harga					4,566,990

Tabel 4.2 Ringkasan Biaya PLT-Angin

NO	Bahan	Qty	Unit	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Talang Air 8"	1	Btg	47,940	47,940
2	Tutup Dop Talang Air 8"	12	Pcs	8,460	33,840
3	Pipa Besi 1/2"	2	Btg	19,740	39,480
4	Besi Siku 30mm	12	Meter	7,050	84,600
5	Plat Strip Tebal 4 x 19mm	2	Btg	12,690	25,380
6	Besi Plat Tebal 7 x 70 x 60mm	4	Pcs	5,640	22,560
7	Besi Plat Tebal 4 x 230 x 230mm	1	Pcs	23,970	23,970
8	Besi Plat Tebal 4 x 300 x 230mm	1	Pcs	28,200	28,200
9	Plat Bearing	2	Pcs	94,470	188,940
10	Baut + Mur	42	Pcs	2,820	118,440
11	Anemo Meter	1	Pcs	186,120	186,120
12	Skrup Gypsum	40	Pcs	564	22,560
13	plat Besi Lingkaran Tebal Ø 130mm	2	Pcs	47,940	95,880
14	Batu Grinda	3	Pcs	9,870	29,610
15	Alternator/Dinamo 12V	1	Pcs	56,400	56,400
Total Harga					1,003,920

Pembuatan prototype pembangkit listrik tenaga hybrid ini mengeluarkan biaya sebanyak Rp5,570,910 biaya ini sudah sangat di perhitungkan dalam pemilihan bahan.

4.1.1 Hasil Perhitungan Nilai Sekarang (P_w), Nilai Deret Seragam (A_w) Dan Nilai Akan Datang (F_w) Dari Komponen Biaya PLTS Dan PLT-Angin.

Tabel 4.3 Besar Biaya Tetap, Biaya Tidak Tetap Dan Nilai Sisa Dari Komponen Biaya PLTS

No	Komponen Biaya	P_w (Rp)	A_w (Rp)	F_w (Rp)
1	<i>Fixed Cost</i>	4,566,990	342,630	8,220,582
	Sel Surya Mono cristalin 50wp	1,057,500		
	Inverter	1,140,000		
	Solar charger 10A	141,000		
	Solar charger 20A	282,000		
	Batrai 12AH	493,500		
	Batrai 7.5AH	2,354,700		
	Buck Converter	211,500		
	volt + Ampere Meter	62,040		
	Stop Kontak + Steker	14,100		
	Saklar	19,740		
	Fuse 10A + Sangkar	11,280		
	Cable duct	71,910		
	Terminal In 13-3 pole 20A	28,200		
	Terminal Blok 6Pole 25A	4,230		
	Kabel NYAF 2.5	284,600		
	Besi Siku 25mm	73,320		
	Besi Siku 30mm	32,430		
	Baut+Mur	287,640		
	Solar Treker Set	282,000		
2	<i>Variable Cost</i> 2,5% dari Biaya Tetap	114,210	08,601	200,220
3	Nilai Sisa (<i>Salvage Value</i>) tahunke 10		8,178	108,570

Tabel 4.4 Besar Biaya Tetap, Biaya Tidak Tetap Dan Nilai Sisa Dari Komponen Biaya PLT-Angin

No	Komponen Biaya	P_w (Rp)	A_w (Rp)	F_w (Rp)
1	<i>Fixed Cost</i>	1,003,920	75,294	1,807,056
	Talang Air 8"	47,940		
	Tutup Dop Talang Air 8"	33,840		
	Pipa Besi 1/2"	39,480		
	Besi Siku 30mm	84,600		
	Plat Strip Tebal 4 x 19mm	25,380		
	Besi Plat Tebal 7 x 70 x 60mm	22,560		
	Besi Plat Tebal 4 x 230 x 230mm	23,970		
	Besi Plat Tebal 4 x 300 x 230mm	28,200		
	Plat Bearing	188,940		
	Baut + Mur	118,440		
	Anemo Meter	186,120		
	Skrup Gypsum	22,560		
	plat Besi Lingkaran Tebal Ø 130mm	95,880		
	Batu Grinda	29,610		
	Alternator/Dinamo 12V	56,400		
2	<i>Variable Cost</i> 2,5% dari Biaya Tetap	25,098	1,974	45,120
3	Nilai Sisa (<i>Salvage Value</i>) tahun ke 10		2,115	28,059

4.2 Hasil Perhitungan Pemulihan Modal Dan Periode Pengambilan Modal Pada Perencanaan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid.

4.2.1 Pemulihan Modal (*Capital Recovery*)

Capital Recovery Cost (CR) dari suatu investasi adalah deret seragam dari modal yang tertanam dalam suatu investasi selama umur dari investasi tersebut. Dalam kasus ini dimana perhitungan pemulihan modal (*capital recovery*) digunakantuk melihat apakah masing- masing investasi PLT-Angin 236 Watt dan PLTSakan memberikan pendapatan yang cukup untuk menutupi modal yang dikeluarkan.

a) Menggunakan PLTS

Biaya Investasi Awal = $Pw (Aw/Pw, i\%, N)$

$$\begin{aligned}
 &= Pw \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\
 &= \text{Rp } 4,566,990 \times \frac{0,06(1+0,06)^{10}}{(1+0,06)^{10} - 1} \\
 &= \text{Rp } 4,566,990 \times \frac{0,108}{0,8} \\
 &= \text{Rp } 4,566,990 \times 0,135 = \text{Rp } 616,544
 \end{aligned}$$

Biaya Pemeliharaan = 2,5% x Biaya Investasi Awal

$$= 2,5\% \times \text{Rp } 4,566,990 = \text{Rp } 114,069$$

Nilai Sisa = $Fw (Aw/Fw, i\%, N)$

$$\begin{aligned}
 &= Fw \times \frac{i}{(1+i)^N - 1} \\
 &= \text{Rp } 108,570 \times \frac{0,06}{(1+0,06)^{10} - 1} \\
 &= \text{Rp } 108,570 \times \frac{0,06}{0,8} \\
 &= \text{Rp } 108,570 \times 0,075 = \text{Rp } 8,143
 \end{aligned}$$

Pemulihan modal (*capital recovery*) selama 10 tahun dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 CR(i) &= Pw(Aw/Pw, i\%, N) + Aw - Fw(Aw/Fw, i\%, N) \\
 &= \text{Rp } 4,566,990 + \text{Rp } 8,178 - \text{Rp } 108,570 \\
 &= \text{Rp } 4,466,598
 \end{aligned}$$

Jadinya pemulihan modal (*capital recovery*) pertahun adalah :

$$\begin{aligned}
 CR(i) &= \frac{\text{Pemulihan Modal Selama 10 Tahun}}{N} \\
 &= \frac{\text{Rp } 4,466,598}{10} = \text{Rp } 446,547
 \end{aligned}$$

b) Menggunakan PLT-Angin

Biaya Investasi Awal = $P_w (A_w/P_w, i\%, N)$

$$\begin{aligned}
 &= P_w \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\
 &= \text{Rp } 1,003,920 \times \frac{0,06(1+0,06)^{10}}{(1+0,06)^{10} - 1} \\
 &= \text{Rp } 1,003,920 \times \frac{0,108}{0,8} \\
 &= \text{Rp } 1,003,920 \times 0,135 = \text{Rp } 135,529
 \end{aligned}$$

Biaya Pemeliharaan = 2,5% x Biaya Investasi Awal

$$= 2,5\% \times \text{Rp } 1,003,920 = \text{Rp } 25,098$$

Nilai Sisa = $F_w (A_w/F_w, i\%, N)$

$$\begin{aligned}
 &= F_w \times \frac{i}{(1+i)^N - 1} \\
 &= \text{Rp } 28,059 \times \frac{0,06}{(1+0,06)^{10} - 1} \\
 &= \text{Rp } 28,059 \times \frac{0,06}{0,8} \\
 &= \text{Rp } 28,059 \times 0,075 = \text{Rp } 2,115
 \end{aligned}$$

Pemulihan modal (*capital recovery*) selama 10 tahun dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 CR(i) &= P_w(A_w/P_w, i\%, N) + A_w - F_w(A_w/F_w, i\%, N) \\
 &= \text{Rp } 1,003,920 + \text{Rp } 1,974 - \text{Rp } 28,059 \\
 &= \text{Rp } 977835
 \end{aligned}$$

Jadinya pemulihan modal (*capital recovery*) pertahun adalah :

$$\begin{aligned}
 CR(i) &= \frac{\text{Pemulihan Modal Selama 10 Tahun}}{N} \\
 &= \frac{\text{Rp } 977835}{10} = \text{Rp } 97784
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan pemulihan modal (*Capital Recovery*) dengan umur atau masa pakai investasi PLTS dan PLT-Angin selama 10 tahun dengan tingkat suku bunga 6 %.

4.2.2. Periode Pengembalian (*Payback Period*)

Pada dasarnya periode pengembalian (*payback period*) adalah jumlah periode (*tahun*) yang diperlukan untuk mengembalikan (*menutup*) biaya investasi awal dengan tingkat pengembalian tertentu.

Nilai pengembalian aset pada tahun ke 10 dengan analisa perhitungan periode pengembalian (*Payback Periode*) untuk PLT-Angin 236Watt dan PLTS *Solar Cell* dengan tarif per kWh Rp 1467,28 dan tingkat suku bunga (MARR) 6 % per tahun dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai Pengembalian Pada Tahun Ke 10

Th ke N	Sumber Energi	Biaya Investasi (Rp)	Biaya Perawatan (Rp)	Nilai Sisa (Rp)	Nilai Jual Energi (Rp)	Nilai Pengembalian (Rp)
10	PLTS	4,566,990	1,140,690	8,178	1,49,601	4,594,344
10	PLT-Angin	1003920	24,675	2,115	149,601	1,126,731

Dengan analisa periode pengembalian (*payback period*) yang diperlihatkan pada Tabel 4.5 diatas, menunjukkan bahwa masing-masing investasi PLTS dan PLT-Angin dengan tingkat suku bunga (MARR) 6 % per tahun dan tarif jual produksi enegi Rp1467 mampu mengembalikan (*menutup*) biaya investasi awal dengan tingkat pengembalian sampai periode/tahun ke 10.

4.2.3. Titik Impas (break Even Point)

Pada pembahasan ini aplikasi analisis titik impas (break even point = BEP) adalah untuk menentukan berapa tarif minimal produksi energi setiap kWh yang harus dijual agar kinerja PLT-Angin dan PLTS akan mencapai kondisi impas pada akhir masa pakai 10 tahun dengan tingkat suku bunga (MARR) 6 %. Ada beberapa komponen biaya yang dipertimbangkan dalam analisis titik impas diantaranya.

Biaya tetap (fixed cost) berupa biaya mesin PLT-Angin dan PLTS beserta peralatan pendukung lainnya seperti: biaya bangunan dan lahan dirubah menjadi deret seragam adalah:

$$FC = \text{Biaya awal}(A_w/P_w, i\%, N)$$

PLTS

$$FC \text{ Surya} = P_w (A_w/P_w, i\%, N)$$

$$\begin{aligned} &= P_w \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \text{Rp } 4,566,990 \times \frac{0,06(1+0,06)^{10}}{(1+0,06)^{10} - 1} \\ &= \text{Rp } 4,566,990 \times \frac{0,108}{0,8} \\ &= \text{Rp } 4,566,990 \times 0,135 = \text{Rp } 616,544 \end{aligned}$$

PLT-Angin

$$FC \text{ Angin} = P_w (A_w/P_w, i\%, N)$$

$$\begin{aligned} &= P_w \times \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \text{Rp } 1,003,920 \times \frac{0,06(1+0,06)^{10}}{(1+0,06)^{10} - 1} \\ &= \text{Rp } 1,003,920 \times \frac{0,108}{0,8} \end{aligned}$$

$$\text{PLT- Angin} = \text{Rp } 1,003,920 \times 0,135 = \text{Rp } 135,529$$

Biaya variabel (variabel cost) seperti bahan baku, biaya perawatan dan biaya operasional adalah: VC = biaya perawatan tahunan (2,5 % dari biaya investasi)

PLTS

$$\begin{aligned} \text{VC} &= 2,5\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \\ &= 2,5\% \times \text{Rp } 4,566,990 = \text{Rp } 114,069 \end{aligned}$$

PLT-Angin

$$\begin{aligned} \text{VC} &= 2,5\% \times \text{Biaya Investasi Awal} \\ &= 2,5\% \times \text{Rp } 1,003,920 = \text{Rp } 25,098 \end{aligned}$$

Biaya total (total cost) merupakan jumlah dari biayatetap dan biaya variabel adalah sebagai berikut:

$$\text{TC} = \text{FC} + \text{VC}$$

PLTS

$$\begin{aligned} \text{TC Surya} &= \text{FC} + \text{VC} \\ \text{TC Surya} &= \text{Rp } 616,544 + \text{Rp } 114,069 \\ &= \text{Rp } 730,613 \end{aligned}$$

PLT- Angin

$$\begin{aligned} \text{TC Angin} &= \text{FC} + \text{VC} \\ \text{TC Angin} &= \text{Rp } 135,529 + \text{Rp } 25,098 \\ &= \text{Rp } 160,627 \end{aligned}$$

Nilai sisa, merupakan nilai jual di tahun/periode penggunaan komponen tersebut yaitu 6% dari nilai investasi awal.

PLTS

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Sisa} &= Fw (Aw/Fw, i\%, N) \\
 &= Fw \times \frac{i}{(1+i)^N - 1} \\
 &= \text{Rp } 108,570 \times \frac{0,06}{(1+0,06)^{10} - 1} \\
 &= \text{Rp } 108,570 \times \frac{0,06}{0,8} \\
 &= \text{Rp } 108,570 \times 0,075 = \text{Rp } 8,143
 \end{aligned}$$

PLT-Angin

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Sisa} &= Fw (Aw/Fw, i\%, N) \\
 &= Fw \times \frac{i}{(1+i)^N - 1} \\
 &= \text{Rp } 28,059 \times \frac{0,06}{(1+0,06)^3 - 1} \\
 &= \text{Rp } 28,059 \times \frac{0,06}{0,8} \\
 &= \text{Rp } 28,059 \times 0,075 = \text{Rp } 2,115
 \end{aligned}$$

Total pendapatan (total revenue) merupakan jumlah nilai jual produksi energi listrik tahunan dan nilai sisa dari PLT-Angin dan PLTS adalah: $TR = tr X + \text{nilai sisa}$

Titik impas akan diperoleh apabila total ongkos/biaya persis sama dengan total pendapatan. Dalam analisa ini adalah mencari tarif yang diberikan untuk energi yang dihasilkan sehingga mendapatkan titik impas di umur periode pemakaian yaitu 10 tahun. Hasil dari perhitungan di peroleh sebagai berikut:

$$0 = \text{Biaya Total} - \text{Total Pendapatan PLT-Angin}$$

$$0 = \text{Biaya Total} - \text{Total Pendapatan}$$

PLTS

$$0 = \text{Rp } 108,570 - (\text{tarif} \times \text{Kwh per tahun} + \text{Nilai sisa})$$

$$\text{Tarif} = (\text{Rp } 108,570 - \text{Rp } 8,143) / 236$$

$$\text{Tarif} = \text{Rp } 426$$

PLT-Angin

$$0 = \text{Rp } 28,059 - (\text{tarif} \times \text{Kwh per tahun} + \text{Nilai sisa})$$

$$\text{Tarif} = (\text{Rp } 28,059 - \text{Rp } 2,115) / 236$$

$$\text{Tarif} = \text{Rp } 110$$

Dari hasil perhitungan dapat ditentukan tarif minimal produksi energi per kWh pada PLT-Angin dan PLTS agar terjadi Titik Impas (BEP). Berdasarkan nilai tarif minimal produksi energi per kWh agar terjadi kondisi impas (BEP) pada akhir masa pakai 10 tahun dan tingkat suku bunga (MARR) 6 % per tahun adalah PLTS Rp. 426 dan PLT- Angin Rp. 110.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada halaman sebelumnya maka dapat di simpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan pemilihan bahan dan material yang digunakan rincian biaya yang di keluarkan sebesar Rp5,570,910, biaya di Tahun ini belum layak di katakan ekonomis, tetapi 5 Tahun yang akan datang nilai ini akan lebih ekonomis karna kenaikan harga bahan dan material.
2. Dengan analisa periode pengembalian (*payback period*) yang diperlihatkan pada Tabel 4.5 diatas, menunjukkan bahwa masing-masing investasi PLTS dan PLT-Angin dengan tingkat suku bunga (*MARR*) 6 % per tahun dan tarif jual produksi enegi Rp 1,467 mampu mengembalikan (*menutup*) biaya investasi awal dengan tingkat pengembalian sampai periode/tahun ke 10.

5.2 Saran

1. Untuk Pemilihan bahan dapat memilih bahan yang lebih ringan untuk digunakan pada PLT-Angin agar lebih mudah turbin berputar.
2. Untuk pengembangan tugas akhir ini dapat di kaji lebih rinci lagi tentang pembangkit tenaga listrik hybrid (surya dan angin) dengan sekala besar, serta dapat menggunakan turbin angin dan sel surya yang berbeda untuk memenuhi konsumsi energi listrik yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Syafik and I. K. Bachtiar, “Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Menggunakan Software HOMER untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam,” vol. 5, no. 2, 2016.
- [2] E. Radwitya, “Kajian Ekonomis PLT-Angin dan PLTS untuk Penerangan Jalan Umum (PJU),” vol. 10, pp. 36–43, 2018.
- [3] B. D. P. Sitorus, A. W. B. Santosa, and G. Rindo, “Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 1, pp. 55–62, 2015.
- [4] S. Kanata, “Kajian Ekonomis Pembangkit Hybrid Renewable Energi Menuju Desa Mandiri Energi di Kabupaten Bone-Bolango,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 2, 2015.
- [5] M. Irfan, “Perencanaan Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On-Grid,” pp. 18–19, 2017.
- [6] F. Miharja and P. Pembangkit, “Perencanaan Dan Manajemen Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin / Surya / Fuel Cell) Pulau sumba menggunakan Software Homer,” pp. 1–5, 2017.
- [7] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, “A feasibility study of a stand-alone hybrid solar-wind-battery system for a remote island,” *Appl. Energy*, vol. 121, pp. 149–158, 2014.
- [8] A. Mostafaeipour, M. Jadidi, K. Mohammadi, and A. Sedaghat, “An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 641–650, 2014.
- [9] S. Rahimi, M. Meratizaman, S. Monadizadeh, and M. Amidpour, “Techno-economic analysis of wind turbine-PEM (polymer electrolyte membrane) fuel cell hybrid system in standalone area,” *Energy*, vol. 67, pp. 381–396, 2014.
- [10] M. A. M. Ramli, A. Hiendro, and Y. A. Al-Turki, “Techno-economic energy analysis of wind/solar hybrid system: Case study for western coastal area of Saudi Arabia,” *Renew. Energy*, vol. 91, pp. 374–385, 2016.

LAMPIRAN 1

Daftar harga bahan-bahan PLTS

NO	Bahan	Qty	Unit	Harga satuan (US\$)	Jumlah Harga (US\$)
1	Sel Surya Mono kristalin 50wp	2	Pcs	45	45
2	Inverter	1	Pcs	100	100
3	Solar charger 10A	1	Pcs	10	10
4	Solar charger 20A	1	Pcs	20	20
5	Batrai 12AH	1	Pcs	35	35
6	Batrai 7.5AH	1	Pcs	16,7	16,7
7	Buck Converter	2	Pcs	7,5	15
8	volt + Ampere Meter	2	Pcs	2,1	4,4
9	Stop Kontak + Steker	1	Pcs	1	1
10	Saklar	2	Pcs	0,7	1,4
11	Fuse 10A + Sangkar	2	Pcs	0,4	0,8
12	Cable duct	3	Btg	1,7	5,1
13	Terminal In 13-3 pole 20A	4	Pcs	0,5	2
14	Terminal Blok 6Pole 25A	1	Pcs	0,3	0,3
15	Kabel NYAF 2.5	30	Meter	0,2	6
16	Besi Siku 25mm	13	Meter	0,4	5,2
17	Besi Siku 30mm	4.6	Meter	0,5	2,3
18	Baut+Mur	102	Pcs	0,2	20,4
19	Solar Treker Set	1	pcs	3,3	3,3
Total harga				323,9	

LAMPIRAN 2

Daftar bahan-bahan PLTA (angin)

NO	Bahan	Qty	Unit	Harga Satuan (US\$)	Jumlah Harga (US\$)
1	Talang Air 8"	1	btg	3,4	3,4
2	Tutup Dop Talang Air 8"	12	Pcs	0,6	2,4
3	Pipa Besi 1/2"	2	btg	1,4	2,8
4	Besi Siku 30mm	12	Meter	0,5	6
5	Plat Strip Tebal 4 x 19mm	2	btg	0,9	1,8
6	Besi Plat Tebal 7 x 70 x 60mm	4	Pcs	0,4	1,6
7	Besi Plat Tebal 4 x 230 x 230mm	1	Pcs	1,7	1,7
8	Besi Plat Tebal 4 x 300 x 230mm	1	Pcs	2	2
9	Plat Bearing	2	Pcs	6,7	13,4
10	Baut + Mur	42	Pcs	0,2	8,4
11	Anemo Meter	1	Pcs	13,2	13,2
12	Skrup Gypsum	40	Pcs	0,04	1,6
13	plat Besi Lingkaran Tebal Ø 130mm	2	Pcs	3,4	6,8
14	Batu Grinda	3	Pcs	0,7	2,1
15	Alternator/Dinamo 12V	1	Pcs	4	4
Total Harga					71,2