

SKRIPSI

**STUDI PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA HIBRIDA PADA PULAU POLEWALI KABUPATEN
PANGKEP**

Disusun dan diajukan oleh :

**ANDI ABIYU JAGRATARA JANITRA PATWA
D041201018**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

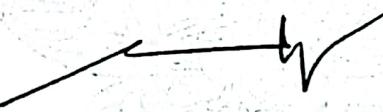
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA
PADA PULAU POLEWALI KABUPATEN PANGKEP**

Disusun dan diajukan oleh

Andi Abiyu Jagratara Janitra Patwa**D041 20 1018**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 4 Desember 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama,



Ir. Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197703222005011001

Ketua Program Studi.



Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, S.T., M.T., I.P.U., ASEAN Eng. ACPE
NIP. 197506052009127004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Abiyu Jagratara Janitra Patwa

NIM : D041201018

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA PADA PULAU POLEWALI KABUPATEN PANGKEP

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

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

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

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

Gowa, 4 Desember 2024

Yang Menyatakan



Andi Abiyu Jagratara Janitra Patwa

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan tugas akhir dengan judul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Pulau Polewali Kabupaten Pangkep” dapat terselesaikan. Salam dan shalawat senantiasa selalu terkirim kepada Nabi Muhammad SAW, suri tauladan bagi semua umat manusia.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam penyelesaian studi program sarjana di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tentunya dalam menyelesaikan tugas akhir ini banyak rintangan yang dihadapi, namun penulis tetap berusaha untuk menyelesaikan tugas akhir dengan sebaik-baiknya. Hal tersebut tentu tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka dari itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Orangtua penulis Abdul Kadir Patwa dan Sri Rochma Kurniati yang senantiasa memberikan dukungan dalam bentuk moral dan materi.
2. Bapak Ir. Yusri Syam Akil, S.T., M.T, Ph.D. selaku pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu memberikan arahan, masukan, dan motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T, M.Eng dan Bapak Ir. Gassing, M.T.. selaku penguji yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal A. Samman, IPU, ACPE, APEC Eng. Selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh dosen dan pegawai Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan selama penulis menempuh masa studi.

8. Seluruh aparat dan warga Pulau Polewali terkhusus Ibu Chia yang telah memfasilitasi penulis selama pengambilan data.
9. Jorgio, Ucci, Yani, Indra, Rahmat, Fiqhul, dan Adi yang telah membantu penulis selama masa studi.
10. Teman-teman PROCEZ20R yang selalu kebersamai dan mewarnai kisah penulis selama masa studi.
11. Kanda-kanda senior yang telah mengarahkan dan membantu penulis selama masa studi.
12. Seluruh pihak yang telah terlibat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang penulis tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu saran dan kritik sangat diharapkan dalam penyempurnaan penulisan ini.

Gowa, 4 Desember 2024

Penulis

ABSTRAK

ANDI ABIYU JAGRATARA JANITRA PATWA Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida pada Pulau Polewali Kabupaten Pangkep (dibimbing oleh Yusri Syam Akil)

Energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat diperbaharui yang tidak akan habis mencakup seperti energi matahari, biomassa, dan energi angin. Sebagaimana cadangan energi fosil semakin menipis, maka pilihan penggunaan energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik semakin meningkat. Salah satu tempat yang memiliki potensi energi terbarukan cukup baik adalah pulau Polewali di Kabupaten Pangkep. Saat ini masyarakat di pulau tersebut menerima listrik dari PLTD secara terbatas yaitu selama 4 jam sehari. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pembangkit listrik di pulau Polewali untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat selama 24 jam hingga 15 tahun kedepan. Perencanaan sistem pembangkit berupa kombinasi PLTD, PLTS, dan PLTB dalam penelitian ini dilakukan dengan empat skenario pengujian. Hasil menunjukkan dengan mengacu kepada beban listrik yang ada Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis yang membutuhkan kebutuhan beban, potensi radiasi matahari dan kecepatan angin di Pulau Polewali di mana kebutuhan beban di Pulau Polewali sekitar 1922,07 kWh/hari, rata-rata radiasi matahari tahun 2023 yaitu 6,6 kWh/m²/hari, dan rata-rata kecepatan angin pada tahun 2023 yaitu 4,418 m/s. Selain itu pada penelitian ini juga dilakukan analisis emisi pada seluruh konfigurasi sistem dengan adanya konfigurasi pertumbuhan beban 5% tiap tahunnya dengan emisi yang semakin berkurang dengan semakin berkurangnya penggunaan PLTD yang dimana lebih dimoninan menggunakan energi terbarukan.

Kata Kunci: Pulau Polewali, Hibrida, Lingkungan, Optimal.

ABSTRACT

ANDI ABIYU JAGRATARA JANITRA PATWA *Hybrid Power Plant Planning Study on Polewali Island, Pangkep Regency (dibimbing oleh Yusri Syam Akil)*

Renewable energy is a source of energy that can be renewed and will not run out, including solar energy, biomass, and wind energy. As fossil fuel reserves are decreasing, the choice of using renewable energy to meet electricity needs is increasing. One place that has quite good renewable energy potential is Polewali Island in Pangkep Regency. Currently, the people on the island receive electricity from PLTD on a limited basis, namely for 4 hours a day. The purpose of this study is to design a power generation system on Polewali Island to meet the electricity needs of the community for 24 hours for the next 15 years. The planning of the power generation system in the form of a combination of PLTD, PLTS, and PLTB in this study was carried out with four test scenarios. The results show that by referring to the existing electrical load, this study was conducted by analyzing the load requirements, potential solar radiation and wind speed on Polewali Island where the load requirements on Polewali Island are around 1922.07 kWh/day, the average solar radiation in 2023 is 6.6 kWh/m²/day, and the average wind speed in 2023 is 4.418 m/s. In addition, this study also conducted an emission analysis on the entire system configuration with a load growth configuration of 5% each year with emissions that are decreasing with the decreasing use of PLTD which is more dominated by using renewable energy.

Keywords: Polewali Island, Hybrid, Environment, Optimal.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi Terbarukan.....	4
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	5
2.3 PLTS Off-Grid.....	7
2.3.1 PLTS off grid domestic.....	8
2.3.2 PLTS off grid non domestic.....	8
2.4 Komponen PLTS.....	8
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	13
2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).....	14
2.7 Komponen Pada PLTB.....	14
2.8 HOMER.....	16
2.9 PLTH.....	16
2.10 Analisis Ekonomi dan Kelayakan Investasi.....	17
2.10.1 Analisis Ekonomi.....	17
2.10.2 Analisis Kelayakan Investasi.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	22
3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3 Prosedur Penelitian.....	22

3.4.	Teknik Analisis	23
3.5.	Diagram Alir Penelitian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		24
4.1	Kondisi Awal	25
4.2	Analisis Data	25
4.2.1	Profil beban listrik.....	26
4.2.2	Intensitas Radiasi Matahari	28
4.2.3	Data Suhu.....	29
4.2.4	Potensi Angin	29
4.3	Perhitungan Kapasitas Komponen PLTS	30
4.3.1	Menghitung Area Array	30
4.3.2	Menghitung Daya Yang Dibangkitkan PLTS	31
4.3.3	Menentukan Jumlah Panel Surya.....	31
4.3.4	Penyusunan Area Panel Surya	32
4.3.5	Menghitung Kapasitas Inverter.....	33
4.3.6	Menghitung Kapasitas Baterai.....	33
4.4	Komponen Pembangkit yang Digunakan	34
4.5	Hasil Pengujian Skenario	39
4.5.1	Pertumbuhan Beban 5 % Hingga 15 Tahun Kedepan.....	39
4.5.2	Skenario Pertama.....	40
4.5.3	Skenario Kedua	41
4.5.4	Skenario Ketiga	44
4.5.5	Skenario Keempat	46
4.6	Analisa Hasil Simulasi	49
4.6.1	Produksi Listrik	49
4.6.2	Emisi	50
4.6.3	Konsumsi Bahan Bakar	50
BAB V		52
KESIMPULAN DAN SARAN		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Panel PV.....	7
Gambar 2 Turbin angin.....	13
Gambar 3 Karakteristik Pembangkitan Daya Listrik pada PLTB.....	14
Gambar 4 Pulau Polewali.....	22
Gambar 5 Diagram Alur Penelitian.....	24
Gambar 6 Pulau Polewali.....	25
Gambar 7 Profil Penggunaan Listrik Pulau Polewali	28
Gambar 8 Data Intensitas Radiasi Matahari	28
Gambar 9 Data Suhu	29
Gambar 10 Data Kecepatan Angin.....	30
Gambar 11 Panel Surya.....	34
Gambar 12 Turbin Angin.....	35
Gambar 13 Inverter	36
Gambar 14 Baterai	38
Gambar 15 Pertumbuhan Beban 5 % Hingga 15 Tahun Kedepan.....	39
Gambar 16 Skenario 1.....	40
Gambar 17 Skenario 2.....	41
Gambar 18 Perkiraan Produksi Listrik Bulanan.....	43
Gambar 19 Skenario 3.....	44
Gambar 20 Perkiraan Produksi Listrik Bulanan.....	46
Gambar 21 Skenario 4.....	46
Gambar 22 Perkiraan Produksi Listrik Bulanan.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perkiraan Penggunaan Energi Listrik Pulau Polewali	27
Tabel 2 Spesifikasi Panel Surya	35
Tabel 3 Spesifikasi Turbin Angin	35
Tabel 4 Keluaran Turbin Angin	36
Tabel 5 Spesifikasi Inverter.....	37
Tabel 6 Spesifikasi Baterai.....	38
Tabel 7 Energi yang Dihasilkan	40
Tabel 8 PLTD Skenario 1	41
Tabel 9 PLTD Autosize Skenario 1	41
Tabel 10 Energi yang Dihasilkan	42
Tabel 11 PLTB Skenario 2.....	42
Tabel 12 PLTD Skenario 2	42
Tabel 13 PLTD Autosize Skenario 2.....	42
Tabel 14 Inverter Skenario 2.....	43
Tabel 15 Baterai Skenario 2.....	43
Tabel 16 Energi yang Dihasilkan	44
Tabel 17 PV Skenario 3	44
Tabel 18 PLTD Skenario 3	45
Tabel 19 PLTD Autosize Skenario 3.....	45
Tabel 20 Inverter Skenario 3.....	45
Tabel 21 Baterai Skenario 3.....	45
Tabel 22 Energi yang Dihasilkan	47
Tabel 23 PV Skenario 4	47
Tabel 24 PLTB Skenario 4.....	47
Tabel 25 PLTD Skenario 4	47
Tabel 26 PLTD Autosize Skenario 4.....	48
Tabel 27 Inverter Skenario 4.....	48
Tabel 28 Baterai Skenario 4.....	48
Tabel 29 Jumlah Produksi Listrik	49
Tabel 30 Jumlah Emisi.....	50
Tabel 31 Konsumsi Bahan Bakar.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi sangat penting untuk keberlangsungan kehidupan manusia. Semakin banyak energi yang dibutuhkan, semakin besar kemakmuran manusia, dan kebutuhan energi juga dapat menimbulkan masalah dalam penyediannya. Energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat diperbaharui sehingga tidak akan habis, seperti air, panas bumi, matahari, biomassa, angin, perubahan suhu laut, biogas, biofuel, dan gelombang laut, karena stok energi fosil semakin menipis. Kebutuhan akan energi terbarukan semakin meningkat.

Energi terbarukan menjadi fokus utama dalam upaya mengatasi masalah ketersediaan energi dan dampak negatif penggunaan bahan bakar fosil terhadap lingkungan. Pulau-pulau kecil, seperti Pulau Polewali di Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu daerah yang menghadapi tantangan besar dalam penyediaan energi listrik yang stabil dan terjangkau. Dengan potensi sumber daya alam yang cukup besar, pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga hibrida yang menggunakan energi terbarukan yaitu energi angin dan energi matahari menjadi solusi yang menarik dan berkelanjutan.

Energi listrik sangat penting untuk kehidupan sehari-hari, terutama dalam hal perumahan, pemerintahan, dan industri. Kebutuhan listrik meningkat secara signifikan sebagai akibat dari pertumbuhan populasi dan penggunaan peralatan yang memerlukan listrik. Diperkirakan konsumsi listrik akan terus meningkat setiap tahunnya. Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (PERSERO) periode 2021–2030 menetapkan rencana pembangunan pembangkit listrik sebesar 40.575 MW. Di antaranya, pembangkit listrik yang bersumber dari energi baru dan terbarukan sebesar 20.923 MW, atau 51,6% dari total pembangkit listrik, dan pembangkit listrik yang bersumber dari energi fosil sebesar 19.652 MW, atau 48,4% dari total pembangkit listrik (PT. PLN (PERSERO), 2021).

Berkurangnya jumlah cadangan energi meningkatnya minat terhadap energi terbarukan seperti angin, tenaga surya, biomassa, panas bumi, air, mikrohidro, dan lain-lain sebagai pengganti energi fosil disebabkan oleh pengurangan cadangan

energi fosil. Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014, pemerintah Indonesia menetapkan Kebijakan Energi Nasional (KEN), yang mewajibkan persentase energi baru terbarukan dalam bauran energi nasional setidaknya 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050.

Sistem pembangkit listrik hibrida telah dibangun di 25 lokasi di seluruh Indonesia. Pada tahun 2010, pemerintah Indonesia membangun proyek percontohan pengembangan energi sistem hibrida di perkampungan nelayan Pantai Pandansimo di Kabupaten Bantul Yogyakarta. PLH di Pandansimo dibangun dengan energi kincir angin dan panel surya.

Sistem hibrida menggabungkan dua atau lebih pembangkit energi listrik berbeda untuk memenuhi kebutuhan energi pada suatu tempat. Misalnya Pada Pulau Polewali Kabupaten Pangkep berada di daerah khatulistiwa, ia akan selalu disinari matahari selama sekitar sepuluh hingga dua belas jam setiap hari. Akibatnya, kombinasi antara pembangkit listrik tenaga hibrida adalah salah satu sistem pembangkit listrik hibrida yang dapat dikembangkan di pulau ini. Indonesia dianggap sebagai negara yang kaya akan energi matahari karena kapasitasnya untuk menghasilkan 4,5 kilowatt-jam per meter persegi setiap hari dan jumlah jam sinar matahari yang dihasilkan setiap tahun adalah 2000 jam (Muljiyanto dkk., 2022).

Pada pulau Polewali masyarakat menggunakan genset sebagai kebutuhan listrik dan sebagian masyarakat menggunakan PLTS sebagai backup untuk penerangan saja jika genset tidak mampu bekerja lagi. Berdasarkan hal tersebut untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin besar maka diperlukan pula pembangkit listrik yang dapat memenuhi kebutuhan energi dan mengurangi biaya ekonomi akibat pembelian bensin yang digunakan sebagai bahan bakar genset.

Salah satu software yang dapat digunakan untuk perencanaan sistem pembangkit Listrik tenaga hibrida plts dan pltb dapat menggunakan software HOMER PRO yang dimana pada software ini dapat menggabungkan 2 atau lebih pembangkit listrik yang berbeda.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida pada Pulau Polewali Kabupaten Pangkep”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang pembangkit listrik tenaga hibrida untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pulau Polewali?
2. Bagaimana dampak lingkungan dengan adanya pembangkit listrik tenaga hibrida pada pulau Polewali?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang pembangkit listrik tenaga hibrida untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pulau Polewali.
2. Mengetahui dampak lingkungan dengan adanya pembangkit listrik tenaga hibrida pada pulau Polewali.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Membantu pemerintah Kabupaten Pangkep sebagai referensi dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Polewali.
2. Memberikan wawasan tentang penambahan pembangkit listrik hibrida pada pulau terisolir.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan yang semakin meluas maka perlu adanya batasan masalah pada penelitian ini, yaitu :

1. Objek penelitian untuk studi sistem pembangkit listrik tenaga hibrida adalah pulau Polewali.
2. Simulasi perancangan sistem pembangkit listrik menggunakan *software* HOMER.
3. Data suhu, intensitas radiasi matahari, dan kecepatan angin hanya didapatkan di NASA.
4. Melakukan sebatas perancangan sistem pembangkit listrik tenaga hibrida

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi alami yang dapat dimanfaatkan secara langsung dan bebas. Keunggulan energi terbarukan adalah ketersediaannya yang tak terbatas dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Contoh energi terbarukan meliputi angin, yang selalu tersedia selama bumi masih ada, dan sering dimanfaatkan melalui teknologi kincir angin untuk menghasilkan energi listrik di negara-negara dengan angin yang cukup intens. Matahari juga merupakan sumber energi penting yang digunakan untuk berbagai aktivitas manusia, seperti fotosintesis buatan, pembangkit listrik tenaga surya, dan pengeringan pakaian (Prabowo, 2016).

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengakui bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah fasilitas komersial, perumahan, dan industri, konsumsi energi telah meningkat sejak 2013. Ada empat bidang utama yang menggunakan energi, ialah: rumah tangga, komersial, industri, dan transportasi. Saat ini sektor Industri mengonsumsi energi terbesar, menyumbang 44,2% dari total keseluruhan. Konsumsi terbesar selanjutnya ialah sektor transportasi memberikan kontribusi terbesar sebesar 40,6% dari total konsumsi, diikuti oleh sektor rumah tangga sebesar 11,4% dan komersial sebesar 3,7%. Karena pertumbuhan ekonomi yang pesat dan populasi yang meningkat, Indonesia harus memanfaatkan dan mengelola energi dengan cara yang paling efisien dan efektif (Suhendar, 2022).

Contoh energi terbarukan antara lain angin, salah satu sumber energi yang tak pernah ada habisnya, selama bumi ini masih ada. Angin seringkali dimanfaatkan dalam teknologi kincir angin, khususnya di negara dengan intensitas angin sangat banyak digunakan untuk mendorong turbin dari kincir angin dan akan menghasilkan energi listrik; matahari, sumber energi paling penting dalam kehidupan manusia dengan energi panasnya digunakan untuk berbagai macam aktivitas, seperti fotosintesis buatan, listrik tenaga surya, menjemur pakaian dan lain sebagainya (Prabowo, 2016).

Pemanfaatan energi terbarukan yaitu sinar matahari tersebut sangat bagus dikarenakan letak geografis Indonesia yang berada di daerah khatulistiwa memiliki potensi penyinaran yang cukup memadai. Energi surya tersebut dapat menyinari selama 12 jam per hari, untuk tiap tahunnya, dengan intensitas yang lumayan tinggi yaitu berkisar 4.8 kWh/m²/hari (Samsurizal, dkk, 2021).

Indonesia memiliki banyak sumber energi yang berbeda. Karena lokasinya di garis khatulistiwa, setiap wilayah Indonesia akan terkena sinar matahari selama sepuluh hingga dua belas jam setiap hari. Sebagai alternatif untuk energi listrik, potensi energi surya di Indonesia harus sepenuhnya dimanfaatkan secara maksimal. Karena total radiasi rata-rata 4,5 kWh energi matahari per meter persegi per hari, cahaya matahari dianggap kaya. Menurut data dari Dirjen Ketenagalistrikan dan Pembinaan Energi pada tahun 1997, kapasitas terpasang listrik tenaga surya di Indonesia sebesar 0,88 MW dari potensi 1,2 x 10⁹ MW. Oleh karena itu, optimalisasi penggunaan energi lokal, termasuk energi terbarukan, difokuskan pada upaya untuk membuat desa yang hemat energi dan membuat kawasan khusus yang memanfaatkan energi untuk bisnis, transportasi, rumah tangga, dan industri. Ini mencakup sumber energi baru yang terbarukan untuk pembangkit Listrik skala besar dan kecil (Suhendar, 2022).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu bentuk energi baru yang terbarukan. PLTS memanfaatkan energi matahari berupa sinar matahari yang langsung diubah menjadi tenaga listrik. Pada dasarnya matahari mengandung energi yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu energi panas dan cahaya. Kedua jenis energi ini dipartisi menjadi dua sistem tenaga surya yang terpisah, yaitu sistem tenaga panas matahari dan sistem tenaga listrik (PLTS). Sistem tenaga panas matahari mengambil panas yang kemudian digunakan untuk memanaskan air, sistem tenaga surya memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik secara langsung. Ketika modul fotovoltaik (PV) terkena sinar matahari, maka modul tersebut akan menghasilkan daya arus searah (DC). Inverter akan mengubah daya DC menjadi daya AC, kemudian didistribusikan ke gedung-gedung (Kiki, 2017).

PLTS efektif mengurangi ketergantungan terhadap tenaga listrik, meningkatkan produksi energi baru terbarukan, dan meningkatkan kualitas

lingkungan. Energi listrik yang dihasilkan PLTS bergantung pada beberapa faktor, antara lain jumlah sinar matahari yang diterima komponen fotovoltaik, suhu di sekitar komponen, dan ada tidaknya shading atau bayangan di sekitar komponen. Faktor tenaga surya menjadi penyebab utama produksi energi listrik di PLTS. Radiasi matahari dipengaruhi oleh letak geografis pembangkit, semakin besar nilai radiasi yang diterima maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan. Sebaliknya, suhu yang lebih tinggi di sekitar modul akan menyebabkan lebih sedikit listrik yang dihasilkan. Biasanya suhu yang digunakan untuk pengujian modul adalah 25°C, namun pada panas terutama di daerah khatulistiwa, suhu di sekitar modul bisa mencapai 40 – 50 °C. Faktor *shading* pada modul fotovoltaik akan menyebabkan daya yang dihasilkan akan menurun. Hal ini dikarenakan modul tersebut tersusun dari bahan semikonduktor (sel surya) yang dihubungkan secara seri 36, 60, atau 72. Jika beberapa sel mengalami *shading*, maka besarnya energi yang dihasilkan akan terpengaruh (Kiki, 2017).

Indonesia merupakan salah satu wilayah surplus radiasi matahari, oleh karena itu energi matahari diperkirakan akan memberikan dampak yang signifikan terhadap penggunaan energi terbarukan. Dalam hal ini, tenaga surya merupakan pengganti energi terbarukan yang dapat mengatasi permasalahan penggantian tenaga fosil. Selain itu, energi surya juga dianggap sebagai sumber energi bersih yang memiliki dampak negatif terbatas terhadap lingkungan. Berdasarkan letak geografisnya yang strategis, sebagian besar wilayah Indonesia mampu menciptakan PLTS dengan daya rata-rata hingga 4 kWh/m². Wilayah Indonesia bagian barat mempunyai sebaran radiasi sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi 10% per bulan, sedangkan wilayah timur mempunyai potensi 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi 9% per bulan. Hal ini harus dimanfaatkan dengan baik karena potensi pembangkit listrik tenaga surya masih bisa dikembangkan dengan pesat di berbagai wilayah di Indonesia (Tarsisius, 2023).



Gambar 1 Panel PV

2.3 PLTS Off-Grid

Sistem PLTS Off-Grid tidak terhubung ke jaringan. Sistem berdiri sendiri, yang juga disebut sebagai sistem stand-alone, biasanya menggunakan pola tersebar dan memiliki kapasitas terbatas untuk pembangkitan skala kecil. Dalam kebanyakan kasus, sistem ini memiliki sistem penyimpanan tenaga listrik yang bersifat elektrik yang berisi baterai sebagai media penyimpanannya. Fungsi sistem ini adalah untuk memasok tenaga listrik ke beban di siang hari dan di malam hari. Menurut kegunaannya, sistem ini dibagi menjadi dua kategori: PLTS off-grid domestic dan PLTS off-grid *non-domestic* (Samsurizal, dkk, 2021).

PLTS Off Grid mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber listrik sehingga aman dari polusi atau tidak mencemari udara. Sistem PLTS Off Grid merupakan solusi terbaik dalam penyediaan energi listrik di daerah terpencil dengan memanfaatkan energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik untuk melayani kebutuhan listrik penduduk dengan sistem pengoperasian dan perawatan yang sangat mudah (Muhammad, 2020).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah istilah untuk sistem fotovoltaik yang menggunakan energi matahari untuk menghasilkan tenaga listrik. Dianggap sebagai salah satu solusi terbaik untuk mendapatkan listrik di daerah pedesaan terpencil yang memiliki banyak sinar matahari. Faktor-faktor berikut memengaruhi penggunaan fotovoltaik (Samsurizal, dkk, 2021):

1. Sumber energi yang melimpah dan tidak memiliki biaya

2. Sistem PLTS memiliki biaya yang relatif rendah untuk pengoperasian dan pemeliharaan.
3. Dapat dilakukan oleh operator setempat dengan pelatihan, dan tidak perlu sering dirawat.
4. Sumber tersedia
5. Ramah lingkungan dengan tidak ad emisi gas atau limbah padat yang berbahaya.

2.3.1 PLTS off grid domestic

PLTS *off grid domestic* (PLTS) adalah sistem tenaga listrik yang menyalurkan listrik ke rumah masyarakat yang belum terhubung dengan jaringan listrik utilitas, dalam hal ini jaringan PLN. Contoh beban listrik yang dicatu oleh sistem ini termasuk beban penerangan dan beban kelistrikan rumah tangga sehari-hari lainnya (Samsurizal, dkk, 2021).

2.3.2 PLTS off grid non domestic

Sistem tenaga listrik *off-grid non domestik* (PLTS) digunakan untuk menyediakan tenaga listrik untuk banyak kebutuhan, seperti telekomunikasi, pompa air, sistem rambu lalu lintas, pelabuhan dan bandar udara, penerangan jalan, kampanye promosi, bantuan navigasi, repeater radio, stasiun transmisi pengamatan cuaca, dan lainnya (Samsurizal, dkk, 2021).

2.4 Komponen PLTS

Masyarakat yang membutuhkan energi dapat menggunakan panel surya sebagai alternatif untuk mendapatkan energi. Beberapa komponen yang membentuk PLTS adalah sebagai berikut: (Bambang, dkk, 2018)

1. Panel surya

Panel surya adalah alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari. Teknologi fotovoltaik menghasilkan energi langsung dari radiasi matahari. Dalam kebanyakan kasus, PV dikemas dalam unit yang disebut modul. Terdapat sejumlah besar sel surya yang dapat disusun secara seri atau paralel dalam sebuah modul surya. Namun, yang dimaksud dengan energi

surya adalah elemen semikonduktor yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik.

Keluaran panel surya dipengaruhi oleh suhu. Setiap kenaikan 1°C (dari 25°C) mengakibatkan penurunan daya sebesar 0.5% (Hajir, dkk, 2022).

$$P \text{ saat } \Delta t = 0.5\% \times P_{MPP} \times \Delta t \quad (1)$$

dimana :

- P : Daya pada saat kenaikan suhu (Wp)
 P_{MPP} : Daya keluaran maksimal panel surya (Wp)
 Δt : Kenaikan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Keluaran panel surya dipengaruhi oleh kenaikan suhu. Dengan mengetahui Δt , kita dapat mengetahui keluaran maksimal ketika menggunakan panel surya dengan ukuran Wattpeak tertentu. Dengan demikian, kita juga dapat mengetahui nilai Faktor Koreksi Temperatur (FKT) berikut.

$$P_{\max t'} = P_{MPP} - P \text{ saat } \Delta t \quad (2)$$

$$FKT = \frac{P_{\max t'}}{P_{MPP}} \quad (3)$$

dimana :

- FKT : Faktor Koreksi Temperatur (%)
 $P_{\max t'}$: Daya maximal suhu
 P_{MPP} : Daya keluaran maksimal panel surya (Wp)
 Δt : Kenaikan suhu

Selanjutnya untuk mengetahui kapasitas dari panel surya dapat ditentukan luas permukaan array surya terlebih dahulu sebagai berikut (Hajir, dkk, 2022).

$$\text{Luas Array} = \frac{El}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times FKT} \quad (4)$$

dimana :

$Luas\ Array$: Luas permukaan array surya (m^2)
EL	: Besar energi yang akan dibangkitkan (kWh/hari)
Gav	: Intensitas radiasi matahari ($kWh/m^2/hari$)
η_{PV}	: Efisiensi panel surya (%)
η_{out}	: Efisiensi keluaran sistem (%)
FKT	: Faktor Koreksi Temperatur (%)

Setelah diketahui luas permukaan dari array surya, maka dapat ditentukan besaran daya yang bisa dibangkitkan oleh array surya tersebut dan jumlah panel yang bisa terpasang dengan persamaan berikut.

$$P\ wattpeak = Luas\ Array \times PSI \times \eta_{PV} \quad (5)$$

$$Jumlah\ panel = \frac{P\ wattpeak}{P_{MPP}} \quad (6)$$

dimana

$P\ wattpeak$: Daya yang dibangkitkan PLTS (Watt)
$Luas\ Array$: Luas permukaan array surya (m^2)
PSI	: Peak Solar Insolation ($100\ W/m^2$)
η_{PV}	: Efisiensi panel surya (%)
P_{MPP}	: Daya keluaran maksimal panel surya (Wp).

2. Solar Charger Controller

Salah satu komponen sistem pembangkit listrik tenaga surya adalah *solar charge controller*. Pengontrol ini mengontrol arus masuk dari panel surya serta arus keluar dan yang digunakan. *Solar charge controller* mengontrol tegangan dan aliran dari panel surya ke baterai untuk menghindari baterai terisi terlalu banyak (Bambang, dkk, 2018).

Fungsi dan manfaat *solar charger controller*:

1. Untuk memperpanjang umur baterai secara signifikan, pengontrol akan menghentikan arus listrik melalui baterai ketika tegangan pada ujung pengisian baterai mencapai nilai penuh. Dalam situasi ini, listrik yang

dihasilkan oleh panel surya akan langsung didistribusikan ke beban atau perangkat elektronik dalam jumlah tertentu, tergantung pada jumlah daya yang dikonsumsi oleh perangkat elektronik tersebut.

2. Pengontrol akan menghentikan aliran listrik dari baterai ke beban atau perangkat elektronik ketika tegangan hampir nol pada baterai. Ketika tegangan tertentu tercapai, biasanya 10% dari sisa tegangan baterai, pengontrol menghentikan arus beban. Ini melindungi baterai dan mencegah kerusakan sel-selnya. Sebagian besar model pengontrol memiliki lampu indikator yang menyala dengan warna khusus, biasanya merah atau kuning, untuk menunjukkan bahwa baterai sedang diisi. Dalam keadaan ini, sisa daya listrik pada baterai berada di bawah 10%, yang merupakan nilai maksimum yang diperbolehkan. Jika arus baterai benar-benar kurang dari 10%, pengontrol akan memutus aliran daya dari baterai, menyebabkan peralatan dan beban listrik tidak dapat bekerja. Beberapa pengontrol memiliki meteran digital tambahan yang menyampaikan informasi lebih lanjut. Meteran ini memantau berbagai komponen sistem pembangkit listrik tenaga surya.

Charger controller menjaga tegangan atau arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai dan mencegah baterai mengalami *overcharge* atau *overcharge*, yang keduanya dapat menyebabkan kerusakan baterai. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung kapasitas pengontrol solar charger (Hajir, dkk, 2022).

$$C_{SCC} = \frac{DW \times SF}{V} \quad (7)$$

dimana

C_{SCC} : Kapasitas dari SCC (A)

DW : Permintaan daya (W)

SF : Faktor keamanan (1,25)

V : Tegangan total dari array surya (V)

3. Inverter

Inverter adalah alat yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Dengan kata lain, inverter mengubah tegangan dari sumber tegangan DC ke perangkat tegangan AC. Sumber tegangan DC inverter bergantung pada baterai, panel surya, atau sumber tegangan DC lainnya.

Pemilihan inverter, baik on-grid, off-grid maupun hibrida, harus dipertimbangkan saat menerapkan PLTS. Inverter sendiri dibagi menjadi dua kategori: inverter 1 fasa (L-N) dan inverter 3 fasa (R-S-T). Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung kapasitas inverter (Hajir, dkk, 2022).

$$C_{iv} = DW \times SF \quad (8)$$

dimana

C_{iv} : Kapasitas inverter (Watt)

DW : Permintaan daya (W)

SF : Faktor keamanan (1,25)

4. Baterai

Baterai sangat penting untuk sistem listrik *off-grid* karena mereka menyimpan energi. Dalam merancang baterai, beberapa hal harus dipertimbangkan: DOD (depth of discharge), jumlah siklus, efisiensi baterai, laju pengosongan, dan suhu. Nilai DOD menunjukkan jumlah energi yang dikeluarkan baterai, dan semakin tinggi nilainya, semakin pendek umur baterai. Masa pakai baterai juga dipengaruhi oleh jumlah siklusnya setiap hari; satu siklus terdiri dari satu pengisian dan satu pengosongan. Jika jumlah siklus baterai lebih banyak setiap hari, masa pakai baterai akan lebih pendek (Noor, 2021).

$$C = \frac{EL \times N}{Vs \times DOD \times \eta_{out}} \quad (9)$$

dimana :

C : Kebutuhan baterai (Ah)

N : Jumlah hari otonomi (Hari)

- EL : Konsumsi energi harian (kWh/hari)
 V_s : Tegangan sistem (kWh/hari)
 η_{out} : Efisiensi keluaran sistem (%)
 DOD : Depth of Discharge (%)

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

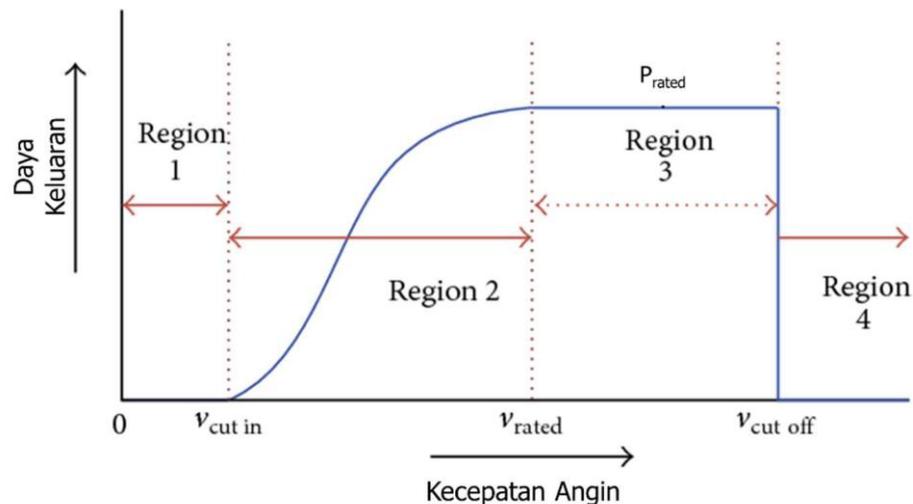
Suatu teknologi pembangkit listrik yang dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dari energi angin. Angin adalah udara yang bergerak dan mengalir, sehingga memiliki arah, tenaga, dan kecepatan. Pergerakan ini disebabkan oleh pemanasan Bumi oleh radiasi matahari. Jumlah energi matahari yang diserap dan dipancarkan kembali oleh bumi berbeda tergantung pada tempat dan waktu karena udara di atas permukaan bumi bukan hanya dipanaskan secara langsung oleh matahari tetapi juga oleh radiasi matahari. Hal ini menyebabkan perubahan suhu di atmosfer, yang mengakibatkan perubahan kerapatan dan tekanan atmosfer. Karena kecepatan dan tekanan udara selalu seimbang, udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah (Miharja, dkk, 2012).



Gambar 2 Turbin angin

Gambar 3 menunjukkan ciri-ciri PLTB untuk pembangkitan energi, yang dibagi ke dalam empat daerah operasi (region). Dalam Region 1, PLTB tidak menghasilkan listrik. Namun, ketika kecepatan v_{cut-in} mencapai titik tertentu, PLTB mulai menghasilkan listrik. Ini adalah energi yang dihasilkan pada awal wilayah region 2 sangat rendah. Jika kecepatan angin lebih besar dari v_{cut-in} , produksi energi listrik

meningkat. Saat kecepatan angin berada pada v_{rated} , energi PLTB mencapai daya puncak, atau P_r . Energi sebesar P_r diproduksi di wilayah Region 3. Saat kecepatan angin berada di nilai $v_{cut-out}$, PLTB tidak mengeluarkan daya atau tidak menghasilkan energi. Jika kecepatan angin berada di wilayah Region 4, PLTB berhenti menghasilkan energi untuk melindungi generator dari kecepatan yang berlebihan yang dapat menyebabkan kerusakan (Wijaya, dkk,2021).



Gambar 3 Karakteristik Pembangkitan Daya Listrik pada PLTB

2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) adalah jenis pembangkit listrik yang beroperasi dengan motor diesel sebagai penggerak awal. Minyak diesel, atau biasa disebut solar, adalah bahan bakar yang paling sering digunakan. Banyak orang menggunakan generator diesel sebagai sumber energi alternatif di daerah terpencil, terutama karena biaya modalnya yang rendah. Jika sumber energi terbarukan tinggi, generator diesel digunakan sebagai cadangan jika EBT tidak dapat menghasilkan listrik. Namun, jika kontribusi EBT rendah, generator diesel menjadi sumber utama dan beroperasi selama berjam-jam setiap hari (Kahar, 2016).

2.7 Komponen Pada PLTB

Sistem pembangkit listrik tenaga bayu memiliki beberapa komponen utama dan komponen pendukung, sebagai berikut (Yuniarti dan Aji, 2019).

1. Turbin angin adalah alat yang dapat memanfaatkan energi kinetik dari angin dan kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik.
2. *Pitch control* adalah komponen motor yang mengubah sudut derajat bilah-bilah turbin sehingga turbin dapat mencapai tingkat kualitas dan kekuatan angin yang optimal.
3. *Nacelle* memiliki beberapa komponen, seperti gearbox, generator, shaft kecepatan rendah dan tinggi, dan lainnya. *Nacelle* juga berfungsi sebagai rumah bagi seluruh komponen yang ada di dalam turbin dan generator PLTB.
4. *Shaft* atau poros adalah komponen mekanik yang dapat mengarahkan tenaga mekanik. Poros PLTB terdiri dari dua bagian: poros utama dan poros sekunder. Poros utama mengirimkan energi mekanik dari turbin ke transmisi atau gearbox, dan poros sekunder mengirimkan energi mekanik dari transmisi atau gearbox ke generator.
5. Komponen mekanik yang disebut gearbox atau transmisi dapat mengubah kecepatan putaran dari tinggi ke lambat atau sebaliknya dengan satuan rasio, misalnya 1:50. Pada PLTB, jenis transmisi yang diperlukan adalah mengubah kecepatan rendah ke kecepatan tinggi, yaitu dengan rasio 90:1. Sementara generator membutuhkan putaran minimal 1500 rpm untuk mencapai tegangan nominalnya, sedangkan turbin hanya memiliki putaran rata-rata hanya 20 rpm.
6. Generator adalah komponen PLTB yang mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik.
7. Yaw gear merupakan bagian yang memiliki kemampuan untuk mengubah arah turbin PLTB sesuai dengan arah angin yang tersedia. Ini dilakukan untuk memaksimalkan potensi udara yang dapat diterima PLTB.
8. Akumulator adalah peralatan yang tidak hanya menyimpan energi, tetapi juga berfungsi sebagai penstabil tegangan. Dalam pembangkit listrik tenaga bayu, akumulator berfungsi sebagai penstabil tegangan karena angin yang digunakan untuk menghasilkan energi tidak selalu tersedia selama 24 jam. Akibatnya, akumulator diperlukan untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh pembangkit selama pembangkit beroperasi.

2.8 HOMER

Salah satu aplikasi yang populer digunakan untuk desain sistem pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan adalah HOMER. Aplikasi ini dapat mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik stand-alone maupun terhubung ke jaringan yang menggunakan kombinasi turbin angin dan photovoltaic (PV) (Kahar, 2016).

Untuk setiap 8760 jam setahun, HOMER memberikan perhitungan keseimbangan energi untuk meniru operasi sistem. HOMER juga dapat menentukan konfigurasi sistem terbaik dan menghitung biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya. Biaya ini termasuk biaya awal, penggantian komponen, biaya O&M, dan biaya bahan bakar.

HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin selama simulasi dan kemudian menampilkannya berurutan menurut Net Presents Costs (NPC), juga dikenal sebagai Life Cycle Cost. Jika diperlukan analisis sensitivitas, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas. Error relatif tahunan kira-kira 3%, dan error relatif bulanan kira-kira 10% (Kahar, 2016).

2.9 PLTH

PLTH menggabungkan berbagai sumber energi yang berbeda untuk menghasilkan listrik. Suatu sistem menggunakan metode operasional tertentu untuk mendapatkan tenaga listrik untuk meningkatkan keandalannya dan memastikan bahwa sistem tersebut beroperasi secara berkelanjutan atau kontinyu. Mereka juga berusaha untuk mengurangi biaya energi listrik. Pembangkit listrik air, pembangkit listrik mikro yang menggunakan angin, dan pembangkit listrik generator adalah contoh pembangkit listrik hibrida (Samsurizal, dkk, 2021).

Sistem PLTH memiliki beberapa manfaat, termasuk (1) meningkatkan kehandalan sistem dalam memenuhi beban, (2) mengurangi emisi dan polusi, (3) menyediakan distribusi listrik yang konsisten, (4) memperpanjang umur sistem, dan (5) mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi (Kahar, 2016).

Sistem PLTH biasanya terdiri dari: (1) inverter yang memiliki rating daya kontinyu 60% dari daya beban, (2) satu atau dua mesin dan generator diesel yang

biasanya memiliki kapasitas sama hingga 1,5 kali rating daya inverter dan dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis, (3) sistem penyimpanan yang biasanya terdiri dari Bank Baterai Leadacid dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu, (4) Sistem Pembangkit Energi Terbarukan seperti Photovoltaic yang dilengkapi dengan Regulator, dan (5) sistem kontrol berbasis mikroprosesor untuk keperluan monitoring dan otomasi manajemen sistem.

2.10 Analisis Ekonomi dan Kelayakan Investasi

2.10.1 Analisis Ekonomi

1. Capital Cost

Capital cost biasa juga dikenal sebagai biaya investasi, adalah biaya awal yang perlu diperhitungkan saat membangun sebuah proyek. Biaya ini dapat mencakup biaya pembebasan tanah, konstruksi infrastruktur fisik seperti gedung, jalan, fasilitas listrik dan air, dll., biaya mesin dan peralatan pendukung, biaya pemasangan mesin, dan biaya pembelian peralatan perusahaan. Pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) adalah hibrida dari PLTS, PLTB, dan PLTD. Biaya investasi PLTH terdiri dari biaya untuk semua komponen listrik seperti panel surya, turbin angin, SCC, baterai, inverter, generator, pondasi, konstruksi, dan peralatan listrik lainnya (Rijal, dkk, 2023).

Selama proyek ini dijalankan, suatu perusahaan harus membayar biaya modal dan biaya operasi. Biaya modal terdiri dari biaya awal pembangunan dan biaya pemeliharaan yang signifikan selama proyek berlangsung. Biaya operasi mencakup operasi, pemeliharaan, dan, jika perlu, biaya bahan bakar (Bagaskoro, dkk, 2019).

2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

Biaya O&M adalah biaya operasional dan perawatan yang dikeluarkan ketika pembangunan proyek sudah selesai dan dikeluarkan secara periodik dengan jumlah yang pada umumnya sama setiap tahunnya. Contoh biaya O&M adalah biaya harian yang diperlukan untuk menjalankan dan mengoperasikan sistem atau peralatan, termasuk biaya bahan bakar, pemeriksaan rutin, perbaikan, dan penggantian komponen. (Navies, 2021). Biaya O&M dalam pengelolaan aset proyek adalah untuk mengetahui biaya total operasi dan pemeliharaan dalam jangka

waktu tertentu, yang memungkinkan perencanaan anggaran yang lebih baik dan pengambilan keputusan yang lebih baik.

PLTH biasanya membutuhkan biaya pemeliharaan dan operasional tahunan sebesar 1% hingga 2% dari biaya investasi awal. Biaya pemeliharaan dan operasional tahunan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Chandra, 2016).

$$O\&M = 1\% \times I_a \quad (10)$$

dimana :

O&M : Biaya Operasional dan Pemeliharaan (Rp)

Ia : Biaya Investasi Awal (Rp)

3. Biaya Siklus Hidup (LCC)

Semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem selama siklus hidupnya disebut LCC. Biaya LCC diperoleh dengan persamaan berikut (Hidayat, dkk, 2019).

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \quad (11)$$

dimana :

LCC : Biaya siklus hidup (LCC)

C : Biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen komponen PLTS, biaya instalasi dan biaya lainnya.

M_{PW} : Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

R_{PW} : Biaya nilai sekarang untuk biaya pergantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek.

Biaya tahunan yang dikeluarkan setiap tahun selama umur proyek dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = A \left[\frac{i(1+i)^N}{i(1+i)^N - 1} \right] \quad (12)$$

dimana

P : Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek

A : Biaya tahunan

i : Tingkat diskonto

n : Umur diskonto

Faktor diskonto (discount factor) adalah faktor yang digunakan dalam menghitung penerimaan dan pengeluaran di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran saat ini. Sebaliknya, tingkat diskonto dapat digunakan untuk menghitung penerimaan dan pengeluaran di masa mendatang dapat berupa tingkat suku bunga pasar (Tingkat suku bunga bank) (Kiki, 2017). Persamaan faktor diskonto adalah sebagai berikut.

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (13)$$

dimana

DF : Faktor diskonto

i : Tingkat diskonto

n : Periode dalam tahun (umur investasi)

4. Biaya Energi (Cost of Energy)

Cost of Energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem (Kanata, 2015). Faktor pemulihan modal digunakan untuk mengubah semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) ke serangkaian biaya yang sama setiap tahun (Kiki, 2017), COE dihitung dengan persamaan berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (14)$$

dimana :

CRF : Faktor pemulihan modal

i : Suku bunga

n : Periode dalam tahun (umur investasi)

Biaya energi diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{COE} = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (15)$$

dimana:

COE : Biaya energi (Rp/kWh)

CRF : Faktor pemulihan modal

A kWh : Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

2.10.2 Analisis Kelayakan Investasi

1. *Payback Period* (PBP)

Payback period adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi dari penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek disebut sebagai waktu pengembalian. Periode pengembalian uang yang didiskon (PBP) adalah periode pengembalian uang yang dihitung dengan faktor pengurangan. Untuk mengetahui PBP, Anda dapat menghitung berapa tahun alur kas bersih nilai sekarang kumulatif yang ditaksir akan sama dengan tahun investasi awal. Kriteria pengambilan keputusan apakah proyek yang ingin dijalankan layak atau tidak (Hidayat, dkk, 2019)

Periode pengembalian didefinisikan sebagai jumlah tahun yang digunakan untuk mengembalikan investasi awal. Ada kemungkinan investasi yang dimaksudkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya akan kembali. Persamaan berikut dapat menentukan tahun ke berapa investasi akan kembali (Hajir, dkk, 2022).

$$\text{PBP} = \frac{\text{Capital}}{\text{Process}} \times 1 \text{ tahun} \quad (16)$$

dimana:

PBP : Periode kembalinya investasi (Payback Period)

Capital : Investasi awal

Process : Nilai yang dikeluarkan setelah investasi dilakukan (total kas bersih)

- Jika DPP memiliki periode waktu yang lebih pendek dari umur proyek, investasi proyek akan dianggap layak (Hidayat, Winardi, & Nugroho, 2019).

- Jika DPP memiliki jangka waktu yang lebih lama dari jangka waktu proyek, investasi proyek tidak dapat dinilai layak.

2. Net Present Value (NPV)

Untuk menghitung (NPV) yaitu selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan dipergunakan persamaan sebagai berikut (Hidayat, dkk, 2019).

$$NPV = \sum_t^n = 1 \frac{NCF_t}{(1-i)^e} - II \quad (17)$$

dimana

NCF_t = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n

II = Investasi awal (Initial Investment)

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

- Jika nilai total nilai (NPV) yang diperoleh adalah positif, proyek tersebut layak dilaksanakan karena menunjukkan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan keuntungan selama periode waktu yang ditetapkan.
- Jika nilai total nilai (NPV) yang diperoleh adalah negatif, proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena menunjukkan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan dalam jangka waktu yang ditetapkan.