

SKRIPSI

**ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS
ENERGI TERBARUKAN (ANGIN DAN MATAHARI) PADA SISTEM
KELISTRIKAN *ISOLATED* 20 kV SELAYAR**

Disusun dan diajukan oleh

AHMAD JAYADI MAULID

D041 17 1021



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS
ENERGI TERBARUKAN (ANGIN DAN MATAHARI) PADA SISTEM
KELISTRIKAN *ISOLATED* 20 kV SELAYAR**

Disusun dan diajukan oleh:

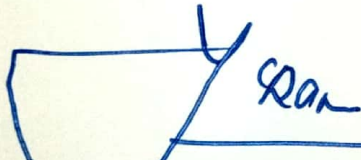
AHMAD JAYADI MAULID

D041 17 1021

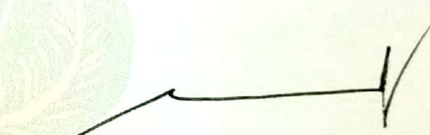
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 22 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing I


Dr. H. Yusran, S.T., M.T.
NIP. 19750404 200012 1 001

Pembimbing II


Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19770322 200501 1 001

Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr. Eng. Tr. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad Jayadi Maulid

NIM : D041171021

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan (Angin dan Matahari) Pada Sistem Kelistrikan *Isolated* 20 kV Selayar)

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

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, 22 Maret 2022

Yang Menyatakan



(Ahmad Jayadi Maulud)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Salam sejahtera bagi kita semua, *Shalom, Om Swastyatsu, Namo Buddhaya*, Salam Kebajikan.

Puji syukur senantiasa dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang dengan rahmat dan hidayah-Nya serta salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan (Angin dan Matahari) pada Sistem Kelistrikan *Isolated* 20 kV Selayar**”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Pada penulisan skripsi ini, penulis banyak dihadapkan dengan berbagai hambatan, akan tetapi berkat adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Olehnya itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan penghargaan dan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah senantiasa memberikan kesempatan, berkat, akal budi, pengetahuan, dan segala yang tak terhitung jumlahnya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Syarifuddin Abbas dan Suhaeni atas segala doa, jasa, motivasi dan dukungan yang telah diberikan dan yang senantiasa mengingatkan penulis untuk menyelesaikan skripsi secepatnya.
3. Bapak Dr. Yusran, S.T., M.T selaku pembimbing I dan Bapak Yusri Syam Akil, S.T.,M.T., Ph.D. selaku pembimbing II serta Bapak Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T. selaku penguji I dan Ibu Dr. Ir. Hasniaty A., S.T., M.T selaku penguji II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh Dosen dan Staf Akademik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membagi ilmu dan wawasan.

6. Ibu Salmiati selaku Staf Akademik Program Studi S1 yang tiada letih membantu mahasiswa dalam pengurusan administrasi.
7. Seluruh Staf Pegawai PT. PLN UIKL Sulawesi dan UPLTD Selayar yang membantu penulis dalam pengambilan data.
8. Teman-teman Equal7zer yang menjadi kawan belajar serta berbagi ilmu selama ini.
9. Teman-teman pengurus Himpunan Mahasiswa Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Periode 2020.
10. Teman-teman pengurus Senat Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Periode 2021.
11. Teman-teman Konan yang selalu berbagi tempat, cerita dan permasalahan kemahasiswaan Fakultas Teknik.
12. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Gowa, 22 Maret 2022
Hormat Saya

Penulis

ABSTRAK

AHMAD JAYADI MAULID *Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan (Angin dan Matahari) Pada Sistem Kelistrikan Isolated 20 kV Selayar* (dibimbing oleh Yusran dan Yusri Syam Akil)

Pulau Selayar merupakan salah satu pulau yang terletak di Provinsi Sulawesi Selatan dan memiliki luas wilayah 10.503,69 km², dimana sistem kelistrikannya disuplai sepenuhnya oleh PLTD dengan kapasitas 10 MW yang beroperasi selama 24 jam setiap hari. Pulau Selayar memiliki sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) yang dapat dikembangkan yaitu energi surya dengan potensi rata-rata sebesar 5,45 kWh/m²/hari dan potensi energi angin rata-rata sebesar 8,72 m/s. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model konfigurasi pembangkit untuk 10 tahun ke depan dengan memprediksi beban listrik Pulau Selayar menggunakan regresi linier dan persamaan koefisien beban kemudian merancang dan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER untuk optimasi sumber energi terbarukan Pulau Selayar berdasarkan *Net Present Cost* (NPC) dan menghitung hasil analisis kelayakan investasi. Berdasarkan hasil simulasi tersebut kemudian akan dilakukan analisis kelayakan investasi untuk menghitung secara finansial seberapa layak sistem pembangkit yang telah dirancang. Hasil simulasi memberikan model konfigurasi pembangkit listrik yang optimal yaitu: PLTD terpasang berkapasitas 10.150 kW dikombinasikan dengan 4 unit turbin angin Enercon E-138 (3,5MW) dan 3 unit penyimpanan baterai (1 MWh). Sistem pembangkit ini mempunyai NPC sebesar Rp 766.394.619.891 biaya investasi sebesar Rp 348.188.500.000 dan COE sebesar Rp 1.723,18/kWh. Hasil analisis dari semua parameter kelayakan investasi menunjukkan bahwa sistem ini layak untuk di kembangkan dengan harga jual listrik sebesar Rp 1.723,18/kWh.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Pulau Selayar, Potensi Energi, Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

ABSTRACT

AHMAD JAYADI MAULID *Planning Analysis of Renewable Energy Power Plant Wind and Solar PV Based at Selayar 20 kV Isolated Electric System* (supervised by Yusran dan Yusri Syam Akil)

Selayar Island is one of the islands located in South Sulawesi Province and has an 10,503.69 km² area, where the electricity system is fully supplied by 10 MW of diesel generator which operates 24 hours a day. Selayar Island has a renewable energy resource that might be developed consists solar energy with an average 5.45 kWh/m²/day and an average of wind energy potential is 8.72 m/s. The study aims to obtain a configuration model for the next 10 years by predicting the electricity load of Selayar Island using linear regression and load equation coefficients then design and perform simulations using the HOMER software to optimizing the renewable energy resource of Selayar Island based on Net Present Cost (NPC) and calculate the results of the analysis of the feasibility of the investment. The method used in this research is to estimate the load for the next 10 years, then design a power plant model and perform simulations using the HOMER software. Based on the simulation results, an investment feasibility analysis will be carried out to calculate financially of the offered design of the power plant system. The simulation results provide an optimal power plant configuration model consists Diesel Power Plant 10,150 kW 3 units Enercon E-138 (3,5 MW) and 3 units of battery energy storages (1MWh). This configuration of the generating system has an Rp 766,394,619,891 of NPC, Rp 348,188,500,000 of investment cost and Rp 1,723.18/kWh of COE. The results of the analysis of all investment feasibility show that the system is feasible to be developed if the price of electricity Rp 1,798.98/kWh.

Keywords: Renewable Energy, Selayar Island, Potential Energy, Wind Power Plant, Solar PV Power Plant.

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Sistematika Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Terbarukan	5
2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya	5
2.3. Panel Surya	6
2.4. Baterai	8
2.5. Inverter	9
2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	9
2.7. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)	11
2.8. Pembangkit Listrik Hibrid (PLH)	11
2.9. Kriteria Biaya Perencanaan Pembangkit Listrik	14

2.10.	Teknik Analisis Kelayakan Investasi.....	18
2.11.	Gambaran Umum Kelistikan Pulau Selayar	20
2.12.	Potensi Energi Terbarukan Pulau Selayar	22
BAB III	METODE PENELITIAN.....	25
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2.	Instrumen Penelitian	25
3.3.	Prosedur Penelitian.....	25
3.4.	Diagram Alir Penelitian.....	37
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1.	Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Selayar	39
4.1.1.	Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik.....	40
4.1.2.	Beban Puncak.....	41
4.1.3.	Prakiraan Beban Harian Pulau Selayar	42
4.2.	Hasil Simulasi.....	44
4.2.1.	Hasil Simulasi Skenario PLTD 100%	45
4.2.2.	Hasil Simulasi Skenario PLTD 50% + PLTB 50%	49
4.2.3.	Hasil Simulasi Skenario PLTD 82% + PLTS 18%	53
4.2.4.	Hasil Simulasi Skenario PLTD 47% + PLTS 2,5% + PLTB 50,5%	57
4.2.5.	Hasil Simulasi Skenario PLTS 100%	61
4.2.6.	Hasil Simulasi Skenario PLTB 100%	64
4.2.7.	Hasil Simulasi Skenario PLTB 96% + PLTS 4%	68
4.2.8.	Hasil Simulasi Skenario HOMER <i>Optimizer</i>	72
4.3.	Perbandingan Hasil Simulasi.....	77
4.4.	Analisis Kelayakan Ekonomi	84
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	90
5.1.	Kesimpulan.....	90

5.2. Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Profil Wilayah Kabupaten Kepulauan Selayar	22
Tabel 3.1	Masukan HOMER untuk Radiasi Matahari	27
Tabel 3.2	Rata-Rata Kecepatan Angin di Pulau Selayar	28
Tabel 3.3	Nilai Masukan PV pada HOMER	29
Tabel 3.4	Nilai Masukan Turbin Angin pada HOMER	29
Tabel 3.5	Nilai Masukan Generator pada HOMER	30
Tabel 3.6	Nilai Masukan Baterai pada HOMER	31
Tabel 3.7	Nilai Masukan Inverter pada HOMER	32
Tabel 4.1	Konsumsi Energi Listrik Pulau Selayar	39
Tabel 4.2	Profil Beban Harian Kabupaten Kepulauan Selayar	39
Tabel 4.3	Tabel Hasil Prakiraan Kebutuhan Listrik Pulau Selayar	41
Tabel 4.4	Prakiraan Beban Puncak Kabupaten Selayar	42
Tabel 4.5	Profil Beban Harian Hasil Peramalan	43
Tabel 4.6	Rangkuman Konfigurasi Pembangkit	44
Tabel 4.7	Hasil Simulasi Skenario PLTD 100%	45
Tabel 4.8	Persentase Produksi Energi per Komponen Skenario PLTD 100%	46
Tabel 4.9	Emisi Gas Buang Skenario PLTD 100%	49
Tabel 4.10	Hasil Simulasi Skenario PLTD 50% + PLTB 50%	49
Tabel 4.11	Emisi Gas Buang Skenario PLTD 50% + PLTB 50%	53
Tabel 4.12	Hasil Simulasi Skenario PLTD 82% + PLTS 18%	53
Tabel 4.13	Emisi Gas Buang Skenario PLTD 82% + PLTS 18%	57
Tabel 4.14	Hasil Simulasi Skenario PLTD 47% + PLTS 2,5% + PLTB 50,5%	58

Tabel 4.15	Emisi Gas Buang Skenario Skenario PLTD 47% + PLTS 2,5% + PLTB 50,5%	61
Tabel 4.16	Hasil Simulasi Skenario PLTS 100%	62
Tabel 4.17	Hasil Simulasi Skenario PLTB 100%	65
Tabel 4.18	Hasil Simulasi Skenario PLTB 94% + PLTS 4%	69
Tabel 4.19	Hasil Simulasi Skenario HOMER Optimizer	73
Tabel 4.20	Emisi Gas Buang Skenario HOMER Optimizer	77
Tabel 4.21	Perbandingan Hasil Simulasi	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Panel Surya (a) Sel Surya Terhubung seri (b) Panel Surya Terhubung Paralel	7
Gambar 2.2	Aliran Daya Pada Beban Rendah/Low Loads	12
Gambar 2.3	Aliran Daya Pada Beban Menengah	13
Gambar 2.4	Aliran Daya Pada Beban Puncak	13
Gambar 2.5	Lokasi perancangan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan (Angin dan Matahari).	20
Gambar 2.6	Single Line Diagram Sistem Kelistrikan <i>isolated</i> 20 kV Selayar (PLN UPLTD Selayar)	21
Gambar 2.7	Data Radiasi Matahari Pulau Selayar (NASA)	23
Gambar 2.8	Data Kecepatan Angin Pulau Selayar (NASA)	23
Gambar 2.9	Data Temperatur Pulau Selayar (NASA)	24
Gambar 3.1	Skema Simulasi Skenario PLTD	34
Gambar 3.2	Skema Simulasi Skenario PLTD-PLTS	34
Gambar 3.3	Skema Simulasi Skenario PLTD-PLTB	34
Gambar 3.4	Skema Simulasi Skenario PLTD-PLTB-PLTS	35
Gambar 3.5	Skema Simulasi Skenario PLTS	35
Gambar 3.6	Skema Simulasi Skenario PLTB	35
Gambar 3.7	Skema Simulasi Skenario PLTB-PLTS	35
Gambar 3.8	Skema Simulasi Skenario Grid Connection	36
Gambar 4.9	Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1	Grafik Beban Harian Hasil Prakiraan	44
Gambar 4.2	Rata-rata Produksi Energi per Tahun Skenario PLTD 100%	46
Gambar 4.3	Grafik Pembebanan Skenario PLTD 100%	47
Gambar 4.4	Ringkasan Biaya Sistem Skenario PLTD 100%	48
Gambar 4.5	Rata-rata Produksi Energi Listrik per Tahun Skenario PLTD 50% + PLTB 50%	49
Gambar 4.6	Grafik Pembebanan Skenario PLTD 50% + PLTB 50%	51
Gambar 4.7	Ringkasan Biaya Sistem Skenario PLTD 50% + PLTB 50%	52
Gambar 4.8	Rata-rata Produksi Energi Listrik Skenario PLTD 82% + PLTS 18%	54

Gambar 4.9	Karakteristik Pembebanan Skenario PLTD 82% + PLTS 18%	55
Gambar 4.10	Ringkasan Biaya Sistem Skenario PLTD 82% + PLTS 18%	56
Gambar 4.11	Rata-rata Produksi Listrik per Tahun Skenario PLTD 47% + PLTS 2,5% + PLTB 50,5%	58
Gambar 4.12	Karakteristik Pembebanan Skenario PLTD 47% + PLTS 2,5% + PLTB 50,5%	59
Gambar 4.13	Ringkasan Biaya Sistem Skenario PLTD 47% + PLTS 2,5% + PLTB 50,5%	60
Gambar 4.14	Rata-rata Produksi Energi Listrik per Tahun Skenario PLTS 100%	62
Gambar 4.15	Karakteristik Pembebanan Skenario PLTS 100%	63
Gambar 4.16	Ringkasan Biaya Sistem Skenario PLTS 100%	64
Gambar 4.17	Rata-rata Produksi Energi Listrik per Tahun Skenario PLTB 100%	66
Gambar 4.18	Karakteristik Pembebanan Skenario PLTB 100%	67
Gambar 4.19	Grafik Biaya Sistem Skenario PLTB 100%	68
Gambar 4.20	Rata-rata Produksi Energi Listrik per Tahun Skenario PLTB 96% + PLTS 4%	70
Gambar 4.21	Karakteristik Pembebanan Skenario PLTB 96% + PLTS 4%	71
Gambar 4.22	Ringkasan Biaya Sistem Skenario PLTB 96% + PLTS 4%	72
Gambar 4.23	Rata-rata Produksi Energi Listrik per Tahun Skenario HOMER <i>Optimizer</i>	74
Gambar 4.24	Karakteristik Pembebanan Skenario HOMER <i>Optimizer</i>	75
Gambar 4.25	Ringkasan Biaya Sistem Skenario HOMER <i>Optimizer</i>	76
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan NPC Setiap Skenario	79
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Setiap Skenario	79
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan Biaya Investasi Setiap Skenario	80
Gambar 4.29	Grafik Perbandingan Produksi Energi Listrik Setiap Skenario	81
Gambar 4.30	Perbandingan Emisi CO ₂ yang Diproduksi Setiap Skenario	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi memiliki peran penting dalam setiap aktivitas kelangsungan hidup semua makhluk. Energi memainkan peran penting dalam pembangunan sosial ekonomi dan kesejahteraan manusia. Salah satu jenis energi yang paling berpengaruh adalah energi listrik yang permintaannya semakin meningkat seiring pertumbuhan populasi penduduk.

Mayoritas pembangkit listrik di Indonesia masih mengandalkan energi fosil. Berdasarkan Rencana Usaha Penyedia Tenaga Listrik (RUPTL) PLN tahun 2018-2027 menyebutkan bahwa lebih dari 82% dari listrik yang dihasilkan berasal dari bahan bakar fosil, 18% sisanya berasal dari sumber energi terbarukan. Sedangkan potensi energi terbarukan di Indonesia cukup memadai seperti energi angin dan matahari. Data menunjukkan potensi energi angin dan matahari masing masing bernilai 60.647 MW dan 207.898 MW sedangkan pemanfaatannya masih minim yakni 0.04% untuk energi matahari dan 0.01% untuk energi angin. (PT PLN Persero, 2018).

Kepulauan Selayar memiliki potensi sumber energi terbarukan yang cukup besar. Berdasarkan data dari RUPTLN 2018-2028 potensi pembangunan PLTS dan PLTB sebesar 10,1 MW. Desa Tanete, Kecamatan Bontomatene Kabupaten Kepulauan Selayar dengan titik koordinat $-5^{\circ} 51' 19.08''$ S $120^{\circ} 31' 30.72''$ E. Potensi energi radiasi matahari berdasarkan data *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) adalah 5,99 Wh/m²/hari dan potensi sumber energi angin yang mencapai kecepatan 8,0 m/s.

Sistem kelistrikan di Pulau Selayar saat ini dilayani sepenuhnya oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas total 10 MW. Oleh karena suplai bahan bakar berasal dari pulau Sulawesi dengan transportasi laut dan

darat maka hal ini juga yang menyebabkan biaya produksi energi listrik di Kepulauan Selayar cukup tinggi sekitar Rp 2.411,58 per kWh.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini akan menganalisis perencanaan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan (angin dan matahari) untuk sistem kelistrikan *isolated* 20 kV. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu melakukan prakiraan beban 10 tahun kedepan dengan menggunakan regresi linear untuk menentukan kebutuhan energi listrik Pulau Selayar dan menggunakan metode koefisien beban untuk menentukan karakteristik beban harian di Pulau Selayar. Untuk merancang model pembangkit digunakan perangkat lunak komputer yaitu HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources* mendapatkan kombinasi dari PLTD (*existing*), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan mempertimbangkan aspek kelistrikan, finansial, lingkungan dan sosial.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana jenis sistem pembangkit listrik yang optimal di Pulau Selayar untuk 10 tahun kedepan.
2. Bagaimana konfigurasi pembangkit listrik yang optimal untuk diterapkan pada sistem tenaga listrik *isolated* 20 kV Selayar
3. Bagaimana menentukan kelayakan ekonomi penerapan sistem pembangkit berbasis energi terbarukan di Pulau Selayar?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh jenis sistem pembangkit listrik yang optimal di Pulau Selayar untuk 10 tahun kedepan.
2. Menentukan konfigurasi pembangkit listrik yang optimal pada sistem tenaga listrik *isolated* 20 kV Selayar.

3. Menghitung kelayakan ekonomi penerapan sistem pembangkit berbasis energi terbarukan di Pulau Selayar?

1.4. Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Potensi radiasi matahari dan kecepatan angin diperoleh berdasarkan pada laman NASA dan tidak didasarkan pada pengukuran data lapangan.
2. Studi kasus dalam penelitian ini adalah sistem kelistrikan *isolated 20 kV* di Kabupaten Kepulauan Selayar.
3. Jenis pembangkit yang direncanakan yaitu PLTD, PLTS, dan PLTB
4. Menggunakan perangkat lunak HOMER untuk mendapatkan optimalisasi pembangkit berdasarkan kriteria biaya.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan referensi bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Selayar atau pun Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk mengembangkan energi baru terbarukan
2. Sebagai literatur pembangkit listrik berbasis energi terbarukan pada pulau terisolir

1.6. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori penunjang untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memuat metodologi dari penelitian yang digunakan berupa tempat dan waktu penelitian. Instrumen penelitian, metode pengumpulan, jenis data, tahapan penelitian dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil penelitian dan pembahasan dari hasil simulasi yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari elemen alam yang tersedia di bumi. Beberapa energi terbarukan yang dapat dikelola adalah antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (PT PLN Persero, 2018). Beberapa manfaat sumber energi berbasis energi terbarukan adalah minimnya atau tidak ada emisi gas rumah kaca, sehingga menjadi sebuah tren baru untuk teknologi pembangkit listrik. Selain itu, energi terbarukan mampu mengurangi kebutuhan untuk mengimpor gas atau batubara karena tidak ada penggunaan bahan bakar fosil pada pembangkit energi terbarukan. (Sumathi, Kumar, & Surekha , 2015)

Berdasarkan Kebijakan Energi Nasional serta Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 50 tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik bahwa Indonesia saat ini merencanakan pengembangan (EBT) dengan sasaran peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23% untuk memenuhi pasokan listrik di Indonesia, minyak bumi kurang dari 25%. Batu bara minimal 30%, dan gas bumi minimal 22% pada tahun 2025 (PT PLN Persero, 2018)

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangki Listrik Tenaga Surya merupakan pembangkit yang mengonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. Prinsip kerja sel surya didasarkan pada efek fotovoltaiik, yaitu dengan menimbulkan perbedaan potensial pada *junction* radiasi elektromagnetik di mana elektron dialirkan karena material semikonduktor menyerap cahaya dengan frekuensi di atas frekuensi ambang batas

material. Energi cahaya tersebut dinamakan foton. Energi foton dirumuskan (Isabella, Jager, Smets, Swaaij, & Zeman, 2016).

$$E=hf \tag{2.1}$$

h = konstanta Planck ($6,62607015 \times 10^{-34}$ joule second)

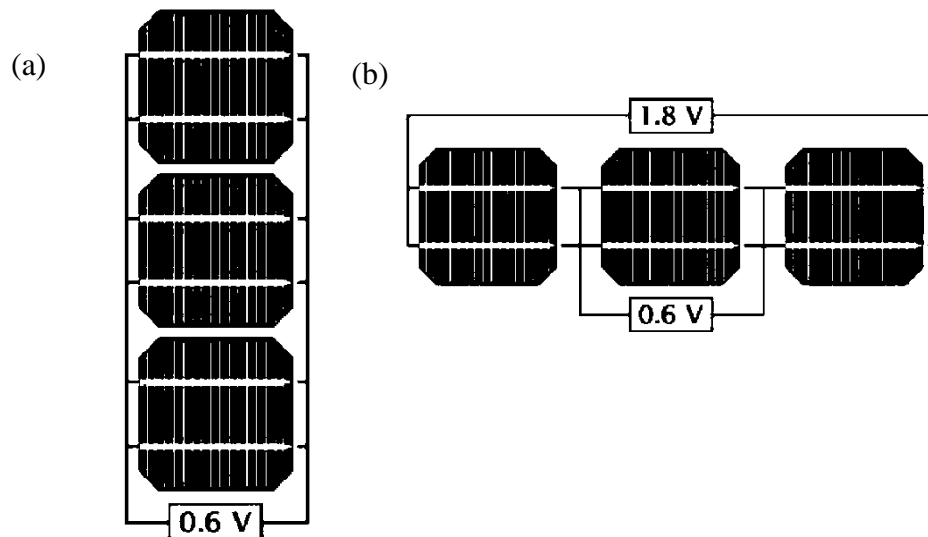
f = frekuensi cahaya (Hz)

Pada PLTS, diperlukan beberapa komponen yang saling berkesinambungan agar PLTS dapat beroperasi secara maksimal sesuai dengan potensi energi matahari pada lokasi tersebut. Komponen tersebut diantaranya:

2.3. Panel Surya

Panel surya atau fotovoltaik merupakan komponen utama yang ada pada sistem PLTS. Fungsi panel surya adalah untuk mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel surya terdiri dari susunan sel-sel fotovoltaik. Sel fotovoltaik adalah perangkat semikonduktor yang mengubah energi cahaya menjadi listrik. Begitu cahaya jatuh pada sel-sel ini dalam kondisi *reverse bias*, sel sel ini mulai menghasilkan listrik (Prashanth, Pramod, & Kumar, 2018)

Dalam sistem PLTS terdapat jenis koneksi sel surya untuk memperoleh spesifikasi yang diinginkan. Pertama, adalah koneksi seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (a). Pada panel surya yang terhubung seri, tegangan rangkaian bertambah untuk tiap sel suryanya. Sedangkan arus rangkaian panel yang terhubung seri tidak bertambah. Arus total dalam rangkaian modul surya sama dengan arus terkecil yang dihasilkan oleh satu sel surya. Selain hubung seri terdapat koneksi sel surya secara paralel seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 (b). Jika sel dihubungkan secara paralel, tegangannya sama di semua sel surya, sedangkan arus sel surya bertambah (Isabella, Jager, Smets, Swaaij, & Zeman, 2016).



Gambar 2.1 Panel Surya (a) Sel Surya Terhubung seri (b) Panel Surya Terhubung Paralel

Untuk menghitung kapasitas PLTS yang dibutuhkan, berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan (Bahrud, 2016):

$$P = \frac{E_{\text{Load}} \times I_o \times k}{H_o \times \eta_b \times \eta_{\text{inv}}} \quad (2.2)$$

Kemudian dalam menentukan jumlah panel yang dibutuhkan dapat digunakan persamaan (Bahrud, 2016):

$$N_{\text{PV}} = \frac{P}{P_{\text{max-out}}} \quad (2.3)$$

Dimana:

P = Kapasitas total modul (kWp)

E_{Load} = Total beban yang harus dipenuhi (kWh)

I_o = Tingkat radiasi standar = $1 \text{ kW}/m^2$

k = Faktor penyesuaian = 1.1

H_o = Tingkat radiasi terendah harian (kWh/m²/hari)

η_b = Efisiensi baterai

η_{inv} = Efisiensi inverter

N_{PV} = Jumlah panel

$P_{\text{max-out}}$ = Kapasitas panel yang digunakan (kWp)

2.4. Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi matahari yang dihasilkan pada siang hari sehingga energinya bisa digunakan baik pada siang hari maupun pada malam hari. Baterai terdiri dari dua atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (katoda) dan terminal negatif (anoda), serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output arus listrik dari baterai adalah arus searah atau DC (*Direct Current*) (Rahadian, 2020).

Baterai merupakan komponen penting sebagai sistem penyimpanan energi baik pada skala kecil maupun besar untuk mengatasi terputusnya sumber energi terbarukan. Ada beberapa jenis material kimia yang digunakan dalam teknologi baterai, yaitu liquid lead-acid, nickel-iron (NiFe), nickel-cadmium (NiCad), alkaline, gel-cell, dan lithium-ion. (Gumintang, Sofyan, & Sulaiman, 2020)

Berikut merupakan persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung kapasitas baterai pada sistem pembangkit listrik.

$$C_{bat} = \frac{E_{Load\ 24\ jam} - E_{PV-Load}}{\eta_{Bat} \times DOD} \quad (2.4)$$

Setelah menentukan kapasitas penyimpanan, untuk menghitung jumlah baterai yang dibutuhkan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_{bat} = \frac{\text{Kapasitas Baterai (kWh)}}{\text{Kapasitas Nominal baterai (kWh)}} \quad (2.5)$$

C_{bat} = Kapasitas total modul (kWh)

$E_{Load\ 24\ jam}$ = Total beban yang harus dipenuhi (kWh)

$E_{PV-Load}$ = Energi yang langsung disalurkan ke beban (kWh)

DOD = *Depth of discharge* atau jumlah energi yang digunakan dari baterai (%)

N_{bat} = Jumlah baterai yang diperlukan

2.5. Inverter

Inverter mengubah keluaran panel surya dan baterai berupa arus searah (DC) menjadi daya 60 atau 50 Hz. Inverter tersedia dalam berbagai *rating* daya dengan efisiensi mulai dari 85% hingga 95%. PLTS berkapasitas besar pada umumnya menggunakan inverter PV terpusat, sementara pembangkit listrik yang lebih kecil beroperasi inverter PV tersebar (*string*) karena fleksibilitas dan keandalannya. Saat ini sebagian besar peralatan dirancang untuk jaringan arus bolak-balik AC standar, maka dari itu sebagian besar sistem PV diperlukan inverter (Gumintang, Sofyan, & Sulaiman, 2020).

Untuk menentukan kapasitas inverter pada suatu sistem kelistrikan dapat digunakan persamaan berikut (Harinatha, 2020)

$$P_{inv} = \frac{P_{Peak Load} \times 120\%}{\eta_{inv}} \quad (2.6)$$

Setelah menentukan kapasitas penyimpanan, untuk menghitung jumlah baterai yang dibutuhkan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_{inv} = \frac{P_{inv}}{\text{Daya Nominal Inverter}} \quad (2.7)$$

$P_{Peak Load}$ = Beban puncak harian (kW)

120% = Faktor penambahan beban

η_{inv} = Efisiensi inverter

Daya Nominal Inverter = Daya inverter yang digunakan

2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Angin adalah udara yang bergerak horizontal melintasi permukaan bumi. Angin dihasilkan oleh perbedaan tekanan udara di antara kedua daerah. Perbedaan tekanan dihasilkan dari pemanasan permukaan bumi yang disebabkan oleh sinar matahari yang menghantam permukaan bumi.

Energi kinetik angin dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin. Energi mekanik ini dijadikan penggerak rotor pada generator untuk mengubah tenaga mekanik ini menjadi energi listrik. Turbin angin persis seperti baling-baling pesawat terbang yakni mengubah gerakan linear di udara menjadi gerakan

melingkar dan memberi daya pada generator listrik yang nantinya memasok arus listrik (Sumathi, Kumar, & Surekha, 2015).

Besarnya daya yang dikeluarkan oleh turbin angin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Hemeida, Ahmar, Ahmed, & Hasanien, 2020)

$$P_{WEG} = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \phi_{tr} \phi_{gen} \quad (2.8)$$

Dimana:

P = Daya yang terkandung dalam angin (dalam satuan watt).

ρ = Densitas udara (1.225 Kg/m^3)

A = Luas bilah dalam (m^2)

V = Kecepatan angin m/s

C_p = Koefisien daya turbin angin

η_t = Efisiensi gear box (%)

η_g = Efisiensi generator (%)

Koefisien daya turbin dapat ditentukan oleh persamaan empiris:

$$C_p = \left[\frac{16}{27} \right] \left[\exp(-0,3538 \times (1,8)^{-1,2946}) - \varepsilon \lambda \right] \quad (2.9)$$

Di mana:

λ = tip speed ratio dari turbin angin untuk multi blade rotor $\lambda=1.8$

$\varepsilon = \frac{C_D}{C_L}$ adalah rasio koefisien drag dengan koefisien angkat.

Koefisien drag minimum untuk mengangkat koefisien untuk pelat baja melengkung dengan tabung pada sisi cekung $\varepsilon=0.15$. Oleh karena itu koefisien daya akan menjadi (Ahmed, Onsa, & Elsaki, 2014):

$$C_p = \left[\frac{16}{27} \right] \left[\exp(-0,3538 \times (1,8)^{-1,2946}) - 0,15 \times (1,8) \right] = 0,35 \quad (2.10)$$

Energi per jam yang dihasilkan (E_{WEG}) oleh generator angin dengan output daya P_{WEG} ditentukan oleh ekspresi berikut (Lal, Dash, & Akella, 2011):

$$E_{WEG}(t) = P_{WEG} \times t \quad (2.11)$$

Dimana:

E_{WEG} = Daya turbin angin (kWh)

P_{WEG} = Daya nominal turbin angin (kW)

T = Waktu (jam)

2.7. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan pembangkit listrik yang mempergunakan motor diesel sebagai penggerak mula. Bahan bakar yang dipergunakan pada umumnya adalah minyak diesel, atau biasa disebut solar. Generator diesel banyak digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk daerah terpencil, terutama karena biaya modalnya yang rendah. Pada daerah yang memiliki sumber energi terbarukan cukup tinggi generator diesel dipilih sebagai cadangan apabila EBT tidak bisa menghasilkan energi listrik. Namun generator diesel menjadi sumber utama dan beroperasi berjam-jam setiap hari jika kontribusi EBT rendah.

Daya output dari generator diesel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Kahar, 2016):

$$P_{\text{diesel}}(t) = \frac{E_{\text{diesel}}(t)}{\eta_{\text{diesel}}} \times 120\% \quad (2.12)$$

Jika efisiensi dari generator diabaikan maka persamaan dapat menjadi:

$$P_{\text{diesel}}(t) = E_{\text{diesel}}(t) \times 120\% \quad (2.13)$$

Dimana:

$P_{\text{diesel}}(t)$ = Kapasitas daya generator diesel (kW)

$E_{\text{diesel}}(t)$ = Energi beban puncak yang harus dipenuhi (kWh)

$\eta_{\text{diesel}}(t)$ = Efisiensi generator diesel

120% = Kompensasi

2.8. Pembangkit Listrik Hibrid (PLH)

Pembangkit Listrik Hibrid (PLH) merupakan gabungan dari dua sistem atau lebih sumber energi yang berbeda diantaranya adalah gabungan antara genset dan PLTS, mikrohidro dan PLTS, atau PLTS dan PLTA. Sistem ini merupakan alternatif sistem pembangkit listrik paling tepat untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh sistem pembangkit besar dengan kapasitas besar seperti jaringan PLN. Sistem pembangkit ini memanfaatkan energi baru terbarukan sebagai sumber

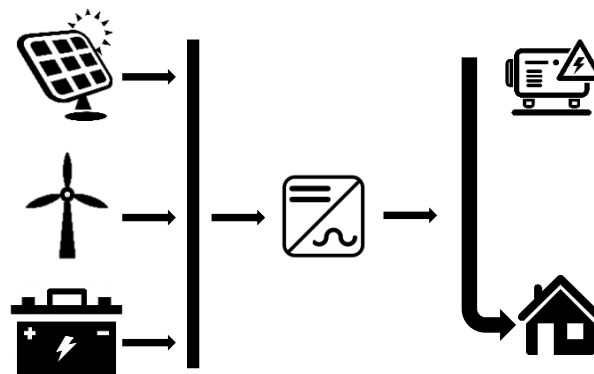
energi listrik utama (primer) yang dikombinasikan dengan genset atau lainnya yang berfungsi sebagai sumber energi sekunder (Rahadian, 2020).

Untuk mengatasi permasalahan beban yang tidak sama sepanjang hari maka kombinasi sumber energi antara panel surya (PV), turbin angin dan generator diesel adalah salah satu solusi paling sesuai untuk sistem pembangkit yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN (Kahar, 2016).

Pada umumnya PLH panel surya, turbin angin, diesel bekerja dalam tiga tahap kategori yang sesuai urutan sebagai berikut:

a. Pada kondisi Beban Rendah

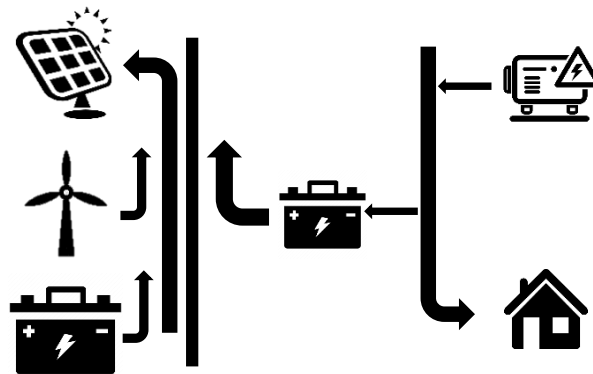
Pada kondisi ini semua beban disuplai 100% dari baterai yang berasal dari sumber panel surya dan turbin angin. Jadi pada kondisi ini inverter mengubah sistem DC ke sistem AC untuk menyuplai beban, selama kondisi baterai masih penuh maka diesel tidak perlu beroperasi (Kahar, 2016).



Gambar 2.2 Aliran Daya Pada Beban Rendah

b. Pada kondisi Beban Menengah (> 50% Beban Puncak)

Pada kondisi ini jika baterai sudah kosong sampai level bawah yang diisyaratkan, maka diesel secara otomatis mulai beroperasi untuk mensuplai beban dengan sebagian mengisi baterai. Jadi pada kondisi ini inverter bekerja sebagai *Charger* (merubah tegangan AC dari generator menjadi tegangan DC) untuk mengisi baterai (fungsi *Bi-Directional Inverter*). Setelah baterai sudah penuh dan dirasa cukup untuk mensuplai beban maka secara otomatis diesel akan dimatikan dan beban akan disuplai oleh baterai melalui inverter.

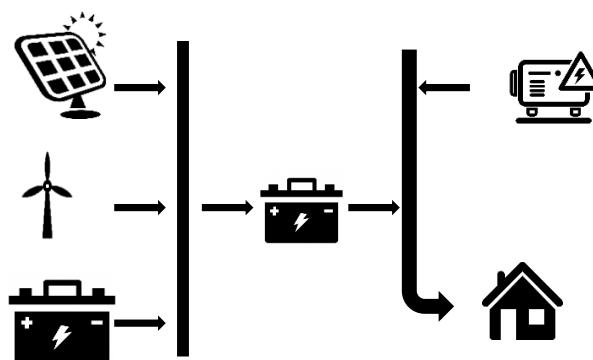


Gambar 2.3 Aliran Daya Pada Beban Menengah

Jika pada saat beban menengah $>50\%$ seperti pada Gambar 2.9 dan baterai masih mencukupi, maka diesel tidak akan beroperasi dan beban tetap disuplai oleh baterai melalui inverter yang akan merubah tegangan DC ke tegangan AC.

c. Pada Kondisi Beban Puncak

Pada kondisi ini baik diesel maupun inverter akan beroperasi keduanya untuk menuju sistem paralel, dan ini terjadi apabila kapasitas terpasang diesel atau inverter tidak mampu memikul beban puncak. Jika kapasitas diesel cukup untuk mensuplai beban puncak, maka inverter tidak akan beroperasi paralel dengan diesel. Apabila baterai sudah mulai penuh energinya maka secara otomatis diesel akan dimatikan dan beban disuplai oleh baterai melalui inverter, ilustrasi seperti pada Gambar 2.10 (Kahar, 2016).



Gambar 2.4 Aliran Daya Pada Beban Puncak

Ketiga proses kerja sistem pembangkit di atas dikendalikan oleh apa yang dinamakan HPC (*Hybrid Power Conditioner*):

Semua proses kerja diatur oleh sistem manajemen kontrol yang ada pada HPC. Proses kontrol ini bukan sekedar mengaktifkan dan menonaktifkan diesel tetapi yang utama adalah pengaturan energi agar pemakaian bahan bakar diesel menjadi efisien (Kahar, 2016).

2.9. Kriteria Biaya Perencanaan Pembangkit Listrik

Berikut merupakan beberapa kriteria dalam mengelola perencanaan pembangkit dari sisi finansial:

1. *Net Present Cost* (NPC)

Total *Net Present Cost* (NPC) adalah nilai dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa pakai, dikurangi nilai sekarang dari semua pendapatan diperoleh selama masa pakai. Biaya meliputi biaya modal, biaya penggantian, biaya operasi dan pemeliharaan, biaya bahan bakar, denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. Sedangkan yang termasuk pendapatan adalah nilai sisa dan pendapatan dari penjualan daya ke jaringan listrik. HOMER menghitung NPC dengan menggunakan persamaan berikut (Kanata, 2015).

$$NPC = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(I, R_{proj})} \quad (2.14)$$

$$NPC = C_{rep} - C_{o\&m} + C_s \quad (2.15)$$

Dimana:

$C_{ann,tot}$: Total biaya tahunan (rp/tahun)

CRF () : Faktor pemulihan modal

I : Tingkat bunga (%)

R_{proj} : Umur/masa manfaat proyek (tahun)

C_{rep} : Biaya total penggantian;

$C_{o\&m}$: Biaya total operasi dan pemeliharaan;

C_s : Nilai sisa di akhir proyek (*salvage*)

2. Total Annualized Cost ($C_{ann,tot}$)

Total Annualized Cost merupakan penjumlahan dari semua biaya-biaya tahunan dari masing-masing komponen sistem, ditambah dengan biaya-biaya tahunan lainnya. Hal ini perlu dilakukan dikarenakan HOMER menggunakan nilai ini untuk menghitung biaya *Cost of Energy* (COE) dan *Net Present Cost* (NPC)

$$C_{ann,tot} = C_{acap} + C_{om} + C_{arep} + C_{fuel} \quad (2.16)$$

3. Annualized Capital Cost

HOMER memperhitungkan modal awal setiap komponen selama masa proyek untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan. HOMER menghitung biaya modal tahunan setiap komponen menggunakan persamaan berikut (HOMER Energy, 2022):

$$C_{acap} = C_{cap} \times CRF(i, R_{proj}) \quad (2.17)$$

Dimana:

C_{acap} : biaya modal awal komponen;

CRF : faktor pemulihan modal;

I : tingkat bunga; dan

R_{proj} : umur proyek

4. Annualized Replacement Cost

Annualized Replacement Cost merupakan nilai tahunan dari semua biaya penggantian yang terjadi selama masa pakai dari sistem dikurangi nilai sisa pada akhir masa proyek. Persamaan yang digunakan adalah (HOMER Energy, 2022):

$$C_{arep} = C_{rep} \times f_{rep} \times SFF(i, R_{komp}) - S \times SSF(i, R_{proj}) \quad (2.18)$$

dengan f_{rep} adalah faktor yang timbul dikarenakan masa pakai komponen dapat berbeda dari umur proyek, yang diperoleh dari

$$f_{rep} = \begin{cases} \text{CRF}(I, R_{proj}) / \text{CRF}(I, R_{rep}) & ; R_{rep} > 0 \\ 0 & ; R_{rep} = 0 \end{cases} \quad (2.19)$$

Dengan R_{rep} adalah biaya selama penggantian yang diberikan oleh:

$$R_{rep} = R_{komp} \text{INT}(R_{proj}/R_{komp}) \quad (2.20)$$

Dimana $\text{INT}()$ adalah fungsi integer. HOMER mengasumsikan bahwa nilai sisa dari komponen pada akhir umur proyek sebanding dengan umur pakainya. Oleh karena itu nilai S diperoleh dari:

$$S = C_{rep} \times (R_{rem}/R_{komp}) \quad (2.21)$$

dengan R_{rem} adalah sisa umur komponen pada akhir masa proyek, yang diperoleh dari

$$R_{rem} = R_{komp} - (R_{proj} - R_{rep}) \quad (2.22)$$

Dimana:

C_{rep} : Biaya pengganti komponen;

SFF : Faktor dana sinking;

i : Tingkat bunga;

R_{komp} : Masa pakai komponen

R_{proj} : Proyek seumur hidup

5. Capital Recovery Factor (CRF)

Capital recovery factor merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai saat ini dari suatu anuitas (serangkaian besaran arus kas tahunan). Persamaan capital recovery factor adalah

$$\text{CRF}(i, R_{proj}) = \frac{i(1+i)^N}{i(1+i)^N - 1} \quad (2.23)$$

N adalah jumlah tahun dan i merupakan real interest rate. Tingkat bunga yang menjadi masukan di HOMER adalah tingkat bunga tahunan riil (disebut juga tingkat bunga riil atau hanya suku bunga). Ini adalah tingkat

diskon yang digunakan untuk mengkonversi antara biaya satu waktu dan biaya tahunan. Tingkat bunga tahunan riil berkaitan dengan tingkat bunga nominal dengan persamaan berikut (HOMER Energy, 2022) (Kanata, 2015):

$$i = \frac{i^{\wedge} - f}{1 + f} \quad (2.24)$$

f adalah laju inflasi tahunan dan i^{\wedge} merupakan tingkat bunga nominal (tingkat bunga pinjaman).

Dengan mendefinisikan tingkat bunga dengan cara ini, inflasi adalah faktor diluar analisis ekonomi. Asumsinya adalah tingkat inflasi adalah sama untuk semua biaya. Faktor dana sinking merupakan rasio yang digunakan untuk menghitung nilai masa depan serangkaian besaran arus kas tahunan. Persamaannya adalah:

$$SFF(i, R_{proj}) = \frac{i}{i(1+i)^N - 1} \quad (2.24)$$

6. Cost of Energy (COE)

Cost of Energy didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. COE dihitung dengan persamaan berikut (Kanata, 2015):

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} - E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{gridsales}} \quad (2.26)$$

Dimana:

$C_{ann,tot}$: Biaya total sistem tahunan (Rp/tahun)
C_{boiler}	: Marjin biaya boiler (Rp/kWh)
$E_{thermal}$: Total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{prim,AC}$: Beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{prim,DC}$: Beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)
E_{def}	: Beban <i>deferrable</i> yang terpenuhi (kWh/tahun)
$E_{gridsales}$: Total penjualan jaringan listrik (kWh/tahun).

2.10. Teknik Analisis Kelayakan Investasi

Analisis untuk menilai kelayakan suatu investasi diantaranya dengan menggunakan *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI) dan *Discount Payback Periode* (DPP) dan *Internal Rate of Return* (IRR).

1. *Net Present Value* (NPV)

NPV menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar *Discount Factor* (DF). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan. Untuk menghitung NPV dipergunakan persamaan berikut (Rahadian, 2020)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (2.27)$$

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

n = umur investasi

i = tingkat suku bunga tahunan

DF dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$DF = \frac{1}{(1+i)^t} \quad (2.28)$$

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

- a. Investasi dinilai layak, apabila NPV bernilai positif (> 0).
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila NPV bernilai negatif (< 0).

2. *Profit Index* (PI)

PI merupakan perbandingan antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal. Teknik ini juga sering disebut dengan model rasio manfaat biaya (*Benefit Cost Ratio*). Teknik PI dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Usman, 2014)

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t(1+i)^t}{I} \quad (2.29)$$

Dimana:

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

II = investasi awal,

N = umur investasi dan

i = tingkat suku bunga riil tahunan.

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

- a. Investasi dinilai layak, apabila PI bernilai lebih besar dari satu (>1).
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila PI bernilai lebih kecil dari satu (<1)

3. *Discounted Payback Period (DPP)*

DPP adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. Sedangkan DPP adalah periode pengembalian yang didiskontokan. DPP dapat dicari dengan menghitung berapa tahun kas *Present Value Net Cash Flow (PVNCF)* kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal (Rahadian, 2020). Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah:

- a. Investasi dinilai layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih pendek dari umur proyek.
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek (Usman, 2014).

4. *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR adalah metode penyusutan peringkat usulan investasi dengan menggunakan tingkat pengembalian dari sebuah investasi, yang dihitung dengan menemukan tingkat diskonto yang menyamai nilai sekarang dari arus kas masuk masa depan biaya proyek. IRR dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$IRR = DF1 + \left(\frac{NPV1}{NPV2 - NPV1} \right) DF2 - DF1 \quad (2.30)$$

Dimana:

DF1 : *Discount Factor* pertama

DF2 : *Discount Factor* kedua

NPV 1 : *Net Present Value* dengan DF1

NPV2 : *Net Present Value* dengan DF2

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

- Investasi dinilai layak, apabila IRR memiliki nilai lebih tinggi dari suku bunga acuan.
- Investasi dinilai tidak layak, apabila IRR memiliki nilai lebih rendah dari suku bunga acuan (Rahadian, 2020).

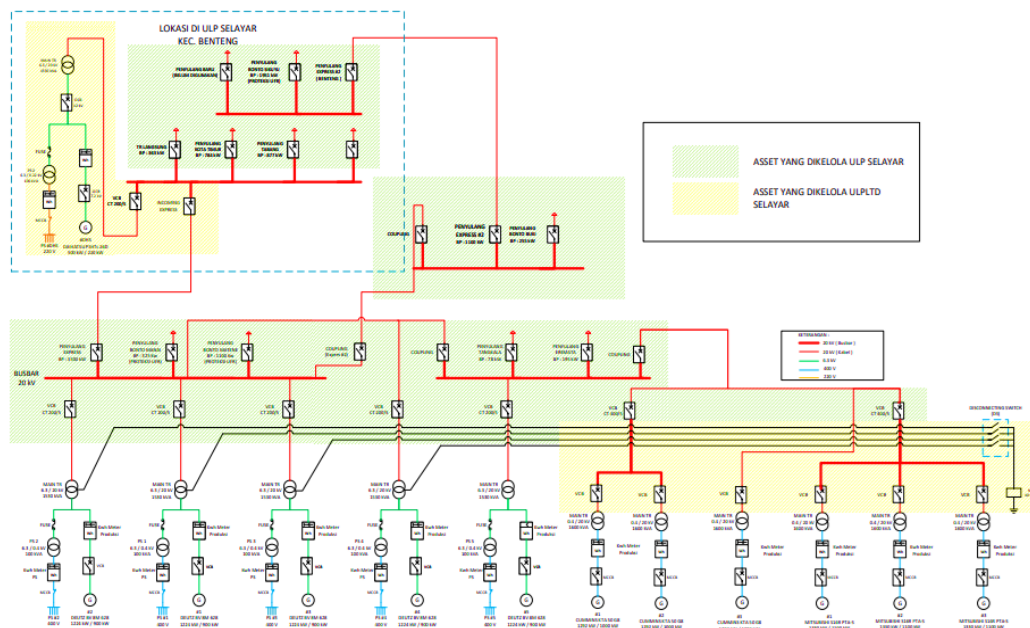
2.11. Gambaran Umum Kelistikan Pulau Selayar

Pulau Selayar memiliki luas wilayah 10.503.69 km² dimana 87% nya merupakan wilayah kelautan. Kepulauan Selayar terletak antara 5°42' - 7°35' Lintang Selatan dan 120°15' - 122°30' Bujur Timur Secara astronomis (Google Earth, 2021). Lokasi daerah studi terletak di Desa Tanete, Kecamatan Bontomatene Kabupaten Kepulauan Selayar dengan titik koordinat 5°51'19.08"S120°31'30."



Gambar 2.5 Lokasi perancangan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan (Angin dan Matahari).

Berdasarkan posisi geografisnya. Kepulauan Selayar terpisah oleh lautan dari Pulau Sulawesi, dengan kondisi geografis yang ada akan menyulitkan untuk menyuplai energi listrik dari pembangkit besar dari sistem tenaga listrik Sulawesi bagian selatan ke Pulau Selayar, maka dari itu Pulau Selayar merupakan daerah dengan sistem kelistrikan yang terisolir dengan *rating* tegangan 20 kV dan 220 Volt. Gambar 2.5 berikut merupakan *Single Line Diagram* sistem kelistrikan di Pulau Selayar.



Gambar 2.6 *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan *Isolated* 20 kV Selayar (PLN UPLTD Selayar,2021)

Sistem ini disuplai sepenuhnya oleh PLTD dengan kapasitas 10 MW dengan jumlah pelanggan sebesar 23.079 pelanggan total kWh jual 31.532 MWh didominasi oleh beban Rumah Tangga 64.42% dan disusul oleh Bisnis 14.49%. Publik 12.56%. Sosial 4.35%. Industri 4.07% serta Layanan Khusus sebesar 0.11%. PLTD ini beroperasi selama 24 jam. Karena kondisi geografi dari Pulau Selayar yang terpisah oleh lautan, maka suplai BBM dari pulau Sulawesi ditransportasikan melalui laut maka hal ini yang menyebabkan Biaya Pokok Pembangkitan (BPP) di Pulau Selayar cukup tinggi mencapai Rp 2.300/kWh (Apriyandi, 2019).

Tabel 2.1 Profil Wilayah Kabupaten Kepulauan Selayar

Tahun	Total Penduduk	Total Rumah Tangga	Total Pelanggan	Konsumsi Energi (kWh)
2010	122.055	30.743	11.754	17.722.093
2011	123.283	31.114	12.571	19.474.066
2012	124.553	31.183	13.910	21.616.320
2013	127.220	32.307	16.638	23.254.470
2014	128.744	32.429	18.665	23.281.650
2015	130.199	32.687	19.334	26.679.660
2016	131.605	33.041	20.463	28.880.165
2017	133.003	33.392	21.592	30.884.776
2018	134.280	33.713	23.079	32.796.335
2019	135.624	34.050	25.750	34.529.511
2020	137.071	34.341	27.610	38.218.650

Sumber: BPS Kabupaten Kepulauan Selayar, 2021

2.12. Potensi Energi Terbarukan Pulau Selayar

Pulau Selayar memiliki potensi angin dan intensitas radiasi matahari yang cukup besar. Menurut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Perusahaan Listrik Negara (RUPTL PLN) pembangunan pembangkit listrik dengan mengombinasikan PLTS-PLTB masuk dalam daftar potensi dengan kapasitas 10 MW. Pembangunan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ini nantinya akan dikombinasikan dengan pembangkit listrik tenaga BBM untuk mengatasi kondisi *intermittent* dari sifat pembangkit berbasis EBT (Energi Baru Terbarukan) dalam hal ini PLTS dan PLTB (PT PLN Persero, 2018).

Desa Tanete, Kecamatan Bontomatene Kabupaten Kepulauan Selayar dengan titik koordinat 5°51'19.08"S120°31'30.72" mempunyai potensi sebesar 6,00 kWh/m²/hari. Berikut Gambar 2.6 menunjukkan data radiasi matahari Pulau Selayar dengan rata-rata setiap tahunnya sebesar 5,45 kWh/m²/hari. Intensitas paling tinggi radiasi matahari terjadi pada bulan Oktober dengan rata-rata 6,49 kWh/m²/hari sedangkan paling rendah terjadi pada bulan Juni dengan radiasi matahari rata-rata 4,47 kWh/m²/hari



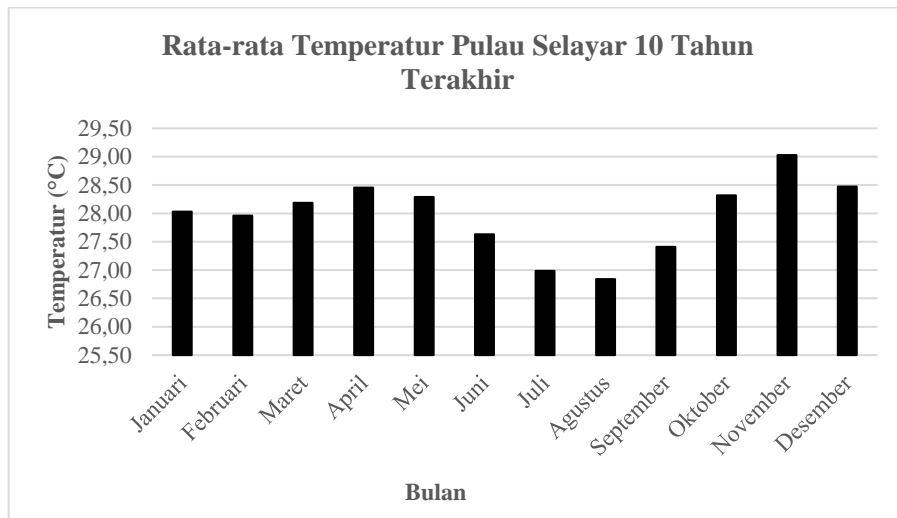
Gambar 2.II7 Data Radiasi Matahari Pulau Selayar (NASA, 2021)

Gambar 2.7 menunjukkan data kecepatan angin Pulau Selayar dengan rata-rata setiap tahunnya sebesar 8,72 m/s. Kecepatan angin paling tinggi terjadi pada bulan Januari dengan rata-rata 11,54 m/s sedangkan paling rendah terjadi pada bulan November dengan kecepatan angin rata-rata 7,46 m/s.



Gambar 2.8 Data Kecepatan Angin Pulau Selayar (NASA,2021)

Gambar 2.8 berikut menunjukkan data data temperatur Pulau Selayar dengan rata-rata setiap tahunnya sebesar 27,97 °C. Temperatur paling tinggi terjadi pada bulan November dengan rata-rata 29,03 °C sedangkan paling rendah terjadi pada bulan Juli dengan temperatur rata-rata 26,99 °C.



Gambar 2.9 Data Temperatur Pulau Selayar (NASA,2021)