

**STUDI PERENCANAAN SISTEM TENAGA LISTRIK *HYBRID* UNTUK
PENERAPAN DAERAH TERISOLIR
(STUDI KASUS: PULAU BARRANG LOMPO)**

TUGAS AKHIR

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin

Makassar

Disusun Oleh:

RISKAWATI

D041 17 1023



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

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
STUDI PERENCANAAN SISTEM TENAGA LISTRIK *HYBRID* UNTUK
PENERAPAN DAERAH TERISOLIR
(STUDI KASUS: PULAU BARRANG LOMPO)

Disusun dan diajukan oleh:

RISKAWATI

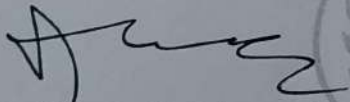
D041 17 1023


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 1 Desember 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

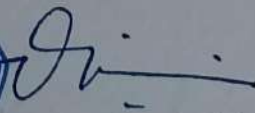
Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.
NIP. 9621231 199003 1 024


Ir. Tajuddin Waris, M.T.
NIP. 19650424 199203 1 003

Ketua Program Studi




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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riskawati

Nim : D041171023

Program Studi: Teknik Elektro

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**STUDI PERENCANAAN SISTEM TENAGA LISTRIK *HYBRID* UNTUK
PENERAPAN DAERAH TERISOLIR
(STUDI KASUS: PULAU BARRANG LOMPO)**

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

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

Makassar, 5 November 2021

Yang membuat pernyataan,



Riskawati

ABSTRAK

Salah satu Pulau di Sulawesi Selatan yang merupakan wilayah Kecamatan Sangkarang Makassar yaitu Pulau Barrang Lompo merupakan pulau yang telah mendapatkan pasokan listrik dari PLN dengan system kelistrikan yang isolated. Saat ini masyarakat menikmati listrik yang bersumber dari PLTD berkapasitas total 500 kW. PLTD mulai beroperasi dari pukul 17.00-06.00 setiap harinya dan hal tersebut bagi masyarakat dinilai masih belum optimal. Selain itu, semakin meningkatnya biaya bahan bakar menjadi salah satu kendala dalam pemenuhan energi listrik. Sehingga perlu dilakukan studi perencanaan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dengan pola 24 Jam. Potensi energi di Pulau Barrang Lompo mencapai tingkat radiasi harian rata-rata matahari sebesar 5,87 kWh/m²/hari dengan rata-rata temperature sebesar 27,33 °C. potensi energi terbarukan yang ada di Pulau Barrang Lompo merupakan salah satu solusi sehingga system pembangkit yang dapat diterapkan adalah system tenaga listrik jenis *hybrid*. Berdasarkan hasil optimasi dengan menggunakan software HOMER yang didasarkan pada NPC terendah maka didapatkan bahwa konfigurasi pilihan terbaik adalah system pembangkit *hybrid* scenario ketiga yang terdiri dari PLTD, PV, inverter, dan system penyimpanan berupa baterai. Skenario ini menghasilkan energi tahunan sebanyak 2916608 kWh/Tahun yang memanfaatkan energi terbarukan hingga 30,7% dengan total *Net Present Cost* sebesar \$4,89M atau setara dengan Rp69.064.739.070 (Rp 14.110/\$).

Kata kunci: Sistem Tenaga Listrik *Hybrid*, Energi Terbarukan, NPC

ABSTRACT

One of the islands in South Sulawesi which is part of the Sangkarang Makassar District, namely Barrang Lompo Island, is an island that has received electricity supply from PLN with an isolated electrical system. Currently, the community enjoys electricity sourced from PLTD with a total capacity of 500 kW. PLTD starts operating from 17.00-06.00 every day and this is considered to be still not optimal for the community. In addition, the increasing cost of fuel is one of the obstacles in fulfilling electrical energy. That it is necessary to conduct a planning study to meet the needs of electrical energy with a 24-hour pattern. The energy potential on Barrang Lompo Island reaches an average daily solar radiation level of 5.87 kWh/m²/day with an average temperature of 27.33 °C. The potential for renewable energy on Barrang Lompo Island is one solution so that the power system that can be applied is a hybrid type of electric power system. Based on the optimization results using the HOMER software which is based on the lowest NPC, it is found that the best configuration option is the third scenario hybrid generating system consisting of diesel, PV, inverter, and battery storage systems. This scenario produces an annual energy of 2916608 kWh/Year utilizing renewable energy up to 30.7% with a total Net Percent Cost of \$4.89M or equivalent to Rp69,064,739,070 (Rp 14,110/\$).

Keywords: Hybrid Electric Power System, Renewable Energy, NPC

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan tugas akhir yang berjudul “**Studi Perencanaan Sistem Tenaga Listrik Hybrid Untuk Penerapan Daerah Terisolir (Studi Kasus: Pulau Barrang Lompo)**” dapat terselesaikan. Salam dan shalawat senantiasa selalu terkirim kepada baginda Rasulullah 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 oleh penulis. Namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Oleh karena itu perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis, **Kamaruddin (Alm)** dan **Muliati** yang tak henti-hentinya memberikan dukungan moral maupun materil kepada penulis. Terkhusus kepada mendiang bapak, selesainya tugas akhir ini menjadi salah satu bakti dalam bentuk penghormatan dan persembahan kepada orang tua yang telah bekerja keras membanting tulang untuk membiayai pendidikan penulis sebelum dipanggil oleh Yang Maha Kuasa.

Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis juga memperoleh banyak bimbingan, bantuan, masukan dan saran-saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.** selaku pembimbing I sekaligus Ketua Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan dan Bapak **Ir. Tajuddin Waris, M.T.** selaku pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, memberikan bimbingan, dorongan, masukan, arahan dan motivasi selama penulis menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak **Dr. Ikhlas Kitta, S.T. M.T.** dan Bapak **Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.** selaku penguji yang telah memberikan saran dan kritik guna perbaikan tugas akhir ini.
3. Ibu **Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.** dan Bapak **Dr. Ikhlas Kitta, S.T. M.T.** selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh dosen dan pegawai Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan selama penulis menempuh masa studi.

7. Saudara dan segenap keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan, dorongan dan motivasi yang tak ternilai harganya.
8. Teman-teman Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan atas bantuan, saran dan motivasinya.
9. Teman-teman **EQUAL17ER 2017** yang senantiasa menemani dan memberikan semangat, motivasi, dan dukungan selama masa studi.
10. Kak Iqra, Kak Hadi, Kak Zulkifli dan Kanda-kanda senior yang telah mengarahkan dan membantu selama masa studi.
11. Seluruh pihak yang telah terlibat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang penulis tidak dapat sebutkan 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.

Makassar, 5 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Pulau Barrang Lompo	7
2.3 Potensi Energi	11
2.3.1 Potensi Energi Surya	12
2.4 Komponen-Komponen PLTS	13
2.4.1 Modul Surya	14
2.4.2 Inverter	16

2.4.3	Baterai	17
2.4.4	<i>Charge Controller</i>	19
2.5	Sistem PLTS.....	19
2.5.1	PLTS Off-Grid	20
2.5.2	PLTS On-Grid.....	21
2.5.3	PLTS <i>Hybrid</i>	22
2.6	Kapasitas Komponen PLTS	23
2.6.1	Jumlah Panel Surya.....	23
2.6.2	Kapasitas Baterai.....	26
2.6.3	Kapasitas Charge Controller	27
2.7	Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i>	27
2.8	HOMER	28
2.9	Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi	30
2.9.1	Analisis Ekonomi.....	30
1.	Biaya Siklus Hidup (<i>Life Cycle Cost</i>).....	30
2.	Biaya Energi (<i>Cost of Energi</i>)	32
2.9.2	Analisis Kelayakan Investasi	34
1.	Net Present Value (NPV)	34
2.	Profitability Index (PI).....	35
3.	Discounted Payback Period (DPP)	35
4.	Internal Rate of Return (IRR).....	36
BAB III	METODE PENELITIAN	38
3.1	Lokasi Penelitian	38
3.2	Waktu Penelitian	38
3.3	Alat dan Bahan	38

3.4	Data yang Diperlukan.....	39
3.5	Prosedur Penelitian.....	39
3.6	Kondisi Kelistrikan Pulau Barrang Lompo.....	40
3.7	Perancangan Sistem PLTS	42
3.8	Pengolahan Data.....	43
3.8.1	Perhitungan Kapasitas Komponen PLH	43
3.9	Simulasi HOMER	45
3.10	Diagram Alir Penelitian.....	49
3.11	Tahap Hasil dan Pembahasan	50
3.12	Tahap Kesimpulan dan Saran	50
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1	Potensi Energi Terbarukan Pulau Barrang Lompo.....	51
4.2	Profile Beban.....	54
4.3	Perancangan PLTS	60
4.3.1	Evaluasi Potensi Energi	60
4.3.2	Kapasitas Komponen PLTS.....	61
4.4	Hasil Simulasi HOMER.....	64
4.4.1	Skenario Pertama (PLTD 100%)	66
4.4.2	Skenario Kedua (PLTS 100%).....	68
4.4.3	Skenario Ketiga (<i>Hybrid (Eksisting+PV+Storage)</i>)	70
4.4.4	Skenario Keempat (<i>Hybrid (Eksisting+PLTD Auto Size+PV)</i>).....	72
4.4.5	Skenario Kelima (HOMER Optimation)	74
4.5	Konfigurasi Pilihan	76
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1	Kesimpulan.....	79

5.2	Saran.....	80
	DAFTAR PUSTAKA	81
	LAMPIRAN.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pulau Barrang Lompo (Google Maps).....	8
Gambar 2. 2 Fasilitas Umum Pulau Barrang Lompo.....	9
Gambar 2. 3 Data Fasilitas Umum Pulau Barrang Lompo (BPS Kota Makassar,2020).....	10
Gambar 2. 4 Potensi Energi Terbarukan Indonesia (Terpasang, Pembangkit, and Energi).....	11
Gambar 2. 5 Diagram Komponen PLTS Terpusat (Development, 2010)	14
Gambar 2. 6 Konstruksi dasar sel PV dengan fitur peningkatan kinerja (jaring pengumpul arus, lapisan anti-reflektif dan pelindung kaca penutup) (Patel, 2006)	15
Gambar 2. 7 Jenis-Jenis Panel Surya (Development, 2010)	16
Gambar 2. 8 Diagram Prinsip PLTS Stand-Alone (Ngurah & Dwijaya, 2019).....	21
Gambar 2. 9 Diagram Prinsip PLTS Grid-Connected (Ngurah & Dwijaya, 2019)	22
Gambar 2. 10 Contoh PLTS <i>Hybrid</i> , PLTS-PLTD (Ngurah & Dwijaya, 2019) ...	23
Gambar 2. 11 Rangkaian Panel Surya	26
Gambar 3. 1 PLTD Pulau Barrang Lompo	40
Gambar 3. 2 Profile Pembebanan PLTD Pulau Barrang Lompo	42
Gambar 3. 3 Gambar Skematik Skenario 1.....	46
Gambar 3. 4 Gambar Skematik Skenario 2.....	47
Gambar 3. 5 Gambar Skematik Sistem <i>Hybrid</i> Dengan Storage.....	47
Gambar 3. 6 Gambar Skematik Sistem <i>Hybrid</i> Tanpa Storage	48
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 4. 1 Radiasi Matahari Harian Pulau Barrang Lompo (NASA)	52
Gambar 4. 2 Data Temperatur Pulau Barrang Lompo (NASA)	54
Gambar 4. 3 Profile beban listrik Pulau Barrang Lompo Pola 24 Jam	58

Gambar 4. 4 Nilai beban harian (tahunan) data simulasi HOMER	59
Gambar 4. 5 Map Data GHI Pulau Barrang Lompo (Glob. Sol. Atlas).....	60
Gambar 4. 6 Skematik Skenario PLTD 100%	66
Gambar 4. 7 Ringkasan Biaya Skenario 1	67
Gambar 4. 8 Skematik Skenario PLTS 100%	68
Gambar 4. 9 Ringkasan Biaya Skenario 2	69
Gambar 4. 10 Skematik Skenario <i>Hybrid</i> (Eksisting+PV+Storage).....	70
Gambar 4. 11 Ringkasan Biaya Skenario 3	71
Gambar 4. 12 Skematik Skenario <i>Hybrid</i> (Eksisting+PLTD Auto Size+PV)	72
Gambar 4. 13 Ringkasan Biaya Skenario 4	73
Gambar 4. 14 Skematik Skenario <i>Hybrid</i> Hasil Optimasi HOMER.....	74
Gambar 4. 15 Ringkasan Biaya Skenario 5	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Kependudukan Pulau Barrang Lompo (BPS Kota Makassar,2020)	9
Tabel 2. 2 Jenis dan Karakter Baterai Sekunder (Dunlop, n.d.)	18
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	38
Tabel 3. 2 Profil Pembebanan PLTD Pulau Barrang Lompo	41
Tabel 4. 1 Tabel Radiasi Harian Matahari Pulau Barrang Lompo.....	51
Tabel 4. 2 Energi Radiasi Matahari di Pulau Barrang Lompo (Kapasitas PV 1 kWp)	53
Tabel 4. 3 Perkiraan beban harian Pulau Barrang Lompo	56
Tabel 4. 4 Hasil Tabulasi Beban Harian Per Jam Pulau Barrang Lompo	57
Tabel 4. 5 Perhitungan Kapasitas PV & PV Inv	61
Tabel 4. 6 Spesifikasi Modul PV Canadian Solar Mono-Crystalline 340 Wp	62
Tabel 4. 7 Spesifikasi Canadian Solar Inverter 125 kW	63
Tabel 4. 8 Perhitungan Kapasitas Baterai	63
Tabel 4. 9 Spesifikasi Canbat Lead Acid 6V; 200Ah	64
Tabel 4. 10 Asumsi Parameter Untuk Simulasi HOMER.....	65
Tabel 4. 11 Uraian Produksi Energi dan Bahan Bakar Tiap Komponen	67
Tabel 4. 12 Kapasitas dan Waktu Operasi Tiap Komponen PLTS.....	69
Tabel 4. 13 Produksi Energi dan Waktu Operasi Tiap Komponen <i>Hybrid</i>	71
Tabel 4. 14 Produksi Energi dan Waktu Operasi Tiap Komponen <i>Hybrid</i>	73
Tabel 4. 15 Produksi Energi dan Waktu Operasi Tiap Komponen <i>Hybrid</i>	75
Tabel 4. 16 Rangkuman Tiap Skenario.....	76
Tabel 4. 17 Uraian Penghematan Skenario 3 dan 5	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan listrik kian meningkat seiring berjalannya waktu. Listrik kini menjadi salah satu kebutuhan utama. Dalam perkembangannya, penyediaan untuk akses listrik bukan hanya ditujukan sebagai pemenuhan kebutuhan konsumtif. Akan tetapi juga sebagai akselerasi dalam peningkatan perekonomian di daerah sehingga dapat memberi dukungan terhadap kesejahteraan masyarakat. Upaya yang dilakukan oleh pemerintah untuk mencapai energi berkeadilan adalah dengan menyediakan energi yang cukup, andal, dan terjangkau.

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar yang ada di dunia. Menurut data yang tercatat pada Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi Indonesia (Kemenko Marves) hingga pada akhir tahun 2019 jumlah pulau yang berhasil divalidasi dan verifikasi pada tingkat data secara nasional mencapai 17.491 pulau dan akan segera dilaporkan secara resmi ke Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Salah satu pulau di Indonesia lebih tepatnya berada di Pulau Sulawesi Selatan yaitu Pulau Barrang Lompo yang merupakan wilayah dari Kecamatan Sangkarang Makassar Sulawesi Selatan (Irawan, 2020).

Di Pulau Barrang Lompo masyarakat mendapatkan pasokan listrik dari PLN berupa pembangkit tenaga diesel dengan kapasitas total 500 kW dan satu buah lagi PLTD cadangan dengan kapasitas 220 kW. Namun bagi masyarakat hal tersebut dinilai belum optimal karena pembangkit hanya beroperasi rata-rata

selama 13 jam setiap harinya yaitu pada pukul 17.00 sampai pukul 06.00. Selain hal tersebut semakin meningkatnya biaya bahan bakar menjadi salah satu kendala dalam pemenuhan energi listrik.

Berdasarkan Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019, Cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2018 adalah 7,51 miliar barel atau mengalami penurunan 0,27% terhadap tahun 2017 ((BPPT) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2019). Pada kondisi ini tentunya pemerintah perlu menyediakan energi alternatif. Energi baru terbarukan (EBT) memiliki potensi yang cukup besar di Indonesia dan sangat bervariasi atau beragam. Namun potensi EBT tersebut masih belum optimal dikembangkan dan dimanfaatkan karena adanya berbagai kendala dalam penerapannya seperti biaya investasi yang cukup tinggi (*Bppt Outlook Energi - Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi, 2019*).

Potensi energi pada Pulau Barrang Lompo meliputi sumber energi baru terbarukan seperti energi matahari dan energi angin. Berdasarkan data yang diperoleh dari *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* website. Sepanjang tahun 2020 rata-rata radiasi matahari di Pulau Barrang Lompo mencapai 5,87 kWh/m²/hari dengan temperature rata-rata harian sebesar 27,33 °C. Berdasarkan data yang ada potensi energi yang dapat dimanfaatkan pada Pulau Barrang Lompo adalah energi surya (NASA).

Berdasarkan pemikiran di atas maka dipandang perlu melakukan penelitian terkait **STUDI PERENCANAAN SISTEM TENAGA LISTRIK HYBRID PADA PULAU BARRANG LOMPO**. Dengan harapan output dari penelitian ini

dapat menjadi rekomendasi untuk pemerintah daerah setempat sehingga masyarakat di daerah Pulau Barrang Lompo dapat menikmati fasilitas listrik selama 24 jam setiap harinya atau minimal dapat menikmati listrik lebih maksimal dari sebelumnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sesuai dengan rumusan masalah yang ada yaitu dapat mengetahui:

1. Sistem kelistrikan yang ada pada Pulau Barrang Lompo
2. Model sistem pembangkit tenaga listrik jenis *hybrid* yang paling optimal dapat diterapkan di Pulau Barrang Lompo.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sistem kelistrikan yang ada pada Pulau Barrang Lompo
2. Menentukan model sistem pembangkit tenaga listrik jenis *hybrid* yang paling optimal diterapkan di Pulau Barang Lompo?

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah. Agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) diterapkan pada Pulau Barrang Lompo.
2. Kapasitas dari tiap komponen pada sistem PLTH berdasarkan data beban listrik pada daerah yang dimaksudkan.
3. Pembahasan dari aspek teknis menjelaskan mengenai prinsip kerja secara umum PLTH yang akan diterapkan pada Pulau Barrang Lompo.
4. Pembahasan dari aspek teknis meliputi jumlah komponen utama yang dibutuhkan untuk membangun PLTH.
5. Pembahasan dari aspek keekonomian berupa penghitungan biaya energi dan analisis kelayakan investasi pembangunan PLTH menggunakan analisa dari software HOMER.
6. Simulasi dengan software HOMER.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari adanya penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi dalam perancangan PLTH untuk penerapan di daerah terisolir.
2. Memberikan wawasan tentang peran dan potensi pembangunan PLTH di daerah terisolir.
3. Memberikan wawasan tentang kelayakan investasi pembangunan PLTH di daerah terisolir.
4. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan usulan proposal penelitian ini sistematika penulisan yang digunakan agar pembahasan dapat terstruktur dengan baik adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi teori-teori relevan yang mendukung penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk mendapatkan susunan kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, pengumpulan data penelitian, perancangan sistem PLTS, diagram alir penelitian, analisis ekonomi kelayakan investasi dan simulasi HOMER.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang kondisi kelistrikan Pulau Barrang Lompo, potensi energi yang dapat dimanfaatkan, profile beban, perancangan PLTS dan hasil simulasi dengan menggunakan software HOMER.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan dan masukan-masukan berupa saran untuk lebih mengoptimalkan penelitian yang akan datang yang terkait dengan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Bambang Winardi dkk (2019), dengan judul Perancangan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini dilakukan di Desa Banjarnegara Kabupaten Banjarnegara dengan memakai perhitungan MATLAB. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS kapasitas dari *photovoltaic array* sebesar 2,80 kWp dengan jumlah modul yang digunakan sebanyak 19 unit adalah 4987,13 kWh per tahun.

Yusuf Adi (2016), dengan judul Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di PT Pertamina (Persero) Unit Pengolahan IV Cilacap. Penelitian ini dilakukan untuk mengintegrasikan PLTS dengan pembangkit yang sudah ada pada unit utilitas atau disebut dengan sistem *grid-connected*. Hasil dari penelitian ini adalah diperoleh biaya energi paling murah dengan menggunakan modul PV berkapasitas 4062,17 MWh setiap tahunnya. Banyak PV yang digunakan adalah 8094 buah dengan harga USD 0,183/kWh.

Dedisukma dkk (2015), dengan judul Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik *Hybrid* Diesel Generator dan *Photovoltaic Array* Menggunakan Perangkat Lunak HOMER (Studi Kasus di Pulau Semujur Kabupaten Bangka Tengah). Penelitian ini dilakukan untuk melakukan penghematan penggunaan bahan bakar minyak bumi dengan mengaplikasikan sistem PLTS. Hasil dari penelitian ini adalah diperoleh potensi energi yang dihasilkan oleh sistem PV sebesar 3,99

kWh/m²/hari untuk radiasi terendah dengan renewable fraction sebesar 34% menghasilkan energi listrik sebesar 15.515,01 kWh/tahun dengan penghematan bahan bakar minyak solar sebesar 64,3%.

2.2 Pulau Barrang Lompo

Provinsi Sulawesi Selatan secara geografi wilayahnya mencakup wilayah pesisir dan pulau, dataran tinggi dan dataran rendah. Luas Wilayah Sulawesi Selatan 46.717,48 km² dengan Kepadatan Penduduk 175,84 Jiwa/km² yang tersebar di 24 Kabupaten/Kota yaitu 21 Kabupaten dan 3 Kotamadya, 304 Kecamatan, dan 2.953 Desa/Kelurahan. Letaknya yang berada pada daerah persimpangan jalur transportasi internasional, provinsi ini memiliki 295 pulau dan 190 diantaranya telah memiliki nama.

Pulau Barrang Lompo merupakan salah satu pulau yang ada di Provinsi Sulawesi Selatan dan termasuk dalam wilayah Kecamatan Kepulauan Sangkarrang, Makassar, Sulawesi Selatan. Secara geografis, pulau ini berada pada posisi 119°19'48" Bujur Timur dan 05°02'48" Lintang Selatan. Jarak dari kota Makassar sejauh ± 11 km dan berbatasan dengan beberapa pulau lain seperti di sebelah Utara berbatasan dengan Pulau Badi, sebelah Timur berbatasan dengan kota Makassar, sebelah Selatan berbatasan dengan Pulau Barrang Caddi dan sebelah Barat berbatasan dengan Pulau Bone Tambung.



Gambar 2. 1 Pulau Barrang Lompo (Google Maps)

Pulau Barrang Lompo merupakan salah satu dari kepulauan Spermonde yang dicirikan dengan keberadaan hamparan luas terumbu karang. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Makassar, Pulau Barrang Lompo memiliki luas sekitar 0.49 km^2 dengan jumlah penduduk sebanyak 4793 (BPS, 2020).

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 mayoritas penduduk pada pulau tersebut bermatapencaharian sebagai seorang nelayan. Berdasarkan hasil

wawancara, didapatkan bahwa rata-rata pendapatan masyarakat tiap bulannya ±Rp 1.000.000 (tergantung musim).

Tabel 2. 1 Data Kependudukan Pulau Barrang Lompo (BPS Kota Makassar,2020)

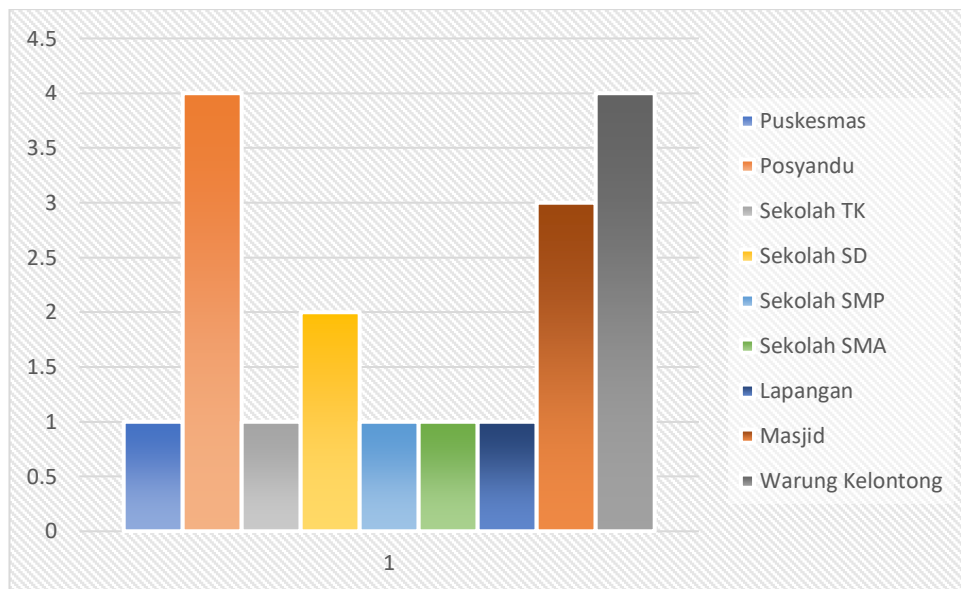
Luas (Km2)	RW	RT	Rumah Tangga	Jumlah Penduduk		Populasi
				Laki-Laki	Perempuan	
0,49	4	21	1000	2442	2351	4793

Pulau Barrang Lompo merupakan salah satu pulau yang memiliki fasilitas pendidikan yang cukup memadai dimana terdapat Taman Kanak-kanak (TK), Sekolah Dasar (SD), Sekolah Menengah Pertama (SMP), dan Sekolah Menengah Atas (SMA). Dalam hal layanan kesehatan terdapat 1 buah Puskesmas dan 4 Posyandu. Fasilitas lain yang dimiliki Pulau Barrang Lompo seperti sarana ibadah yaitu berupa masjid.



Gambar 2. 2 Fasilitas Umum Pulau Barrang Lompo

Seperti pada Gambar 2.3 menunjukkan data fasilitas umum yang ada pada Pulau Barrang Lompo.

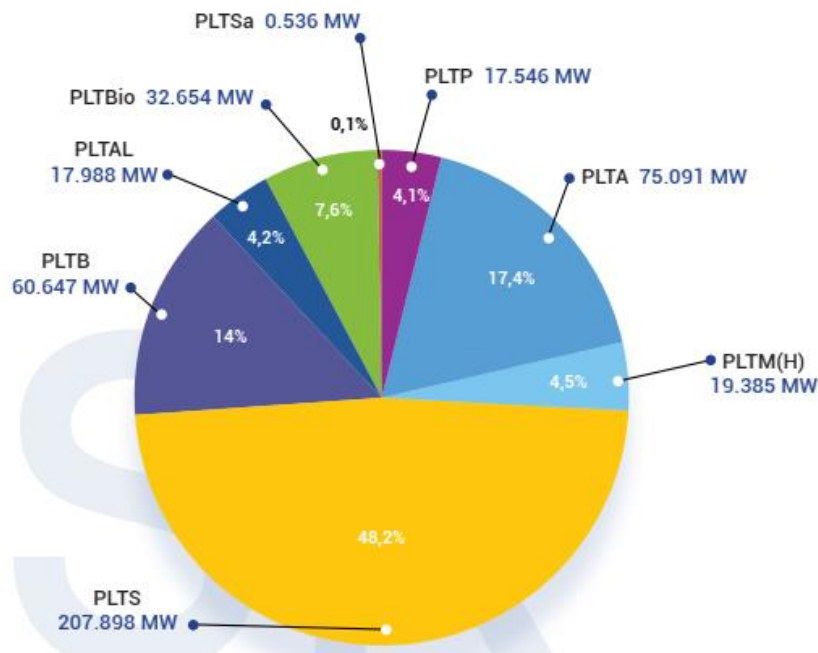


Gambar 2. 3 Data Fasilitas Umum Pulau Barrang Lompo (BPS Kota Makassar,2020)

Pasokan listrik Pulau Barrang Lompo didapatkan melalui Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang disediakan melalui Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD) berkapasitas 500 kW. Namun masyarakat merasa bahwa hal tersebut belum dirasa optimal karena pembangkit hanya beroperasi selama kurang lebih 12 jam setiap harinya yaitu mulai dari pukul 17.00-06.00, adapun untuk memenuhi kebutuhan listrik di siang hari, beberapa masyarakat memanfaatkan genset pribadi atau aki untuk keperluan penerangan serta penggunaan alat elektronik lain dan sekaligus sebagai bentuk antisipasi jika PLTD tidak dapat beroperasi atau mengalami kerusakan.

2.3 Potensi Energi

Mayoritas pembangkit listrik energi terbarukan yang ada maupun yang direncanakan mengandalkan tenaga air atau panas bumi. Dari 7 GW kapasitas terpasang yang ada, 66% adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan 27% Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Demikian pula dari 29 GW rencana penambahan dalam RUPTL, 50% berupa PLTA dan 26% berupa PLTP. Di sisi lain, rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hanya sebesar 7% walaupun potensinya hampir mencapai 50% potensi energi terbarukan di Indonesia.



Gambar 2. 4 Potensi Energi Terbarukan Indonesia (Terpasang, Pembangkit, and Energi)

Dalam RUED, rencana pembangunan PLTS memiliki proporsi yang lebih besar, mencapai 16%. Energi surya memiliki potensi lebih dari 200 GW dengan

efisiensi teknologi *photovoltaic* yang tersedia saat ini (Terpasang et al., n.d.). Namun, pemanfaatan energi surya dalam pembangkitan listrik masih kurang dari 100 MW.

Potensi tenaga surya ini tersebar di seluruh wilayah Indonesia, potensi terbesar ada pada daerah Kalimantan Barat (20 GW), Sumatera Selatan (17 GW), dan Kalimantan Timur (13 GW). Daerah-daerah tersebut merupakan daerah yang juga memiliki cadangan batu bara terbesar. Maka, ada peluang peralihan sumber energi dari batu bara menuju energi surya di daerah tersebut.

2.3.1 Potensi Energi Surya

Matahari adalah sumber energi yang berjumlah besar dan bersifat terus-menerus selama siklus alam masih terjadi. Pemanfaatan tenaga surya dapat dilakukan dengan cara mengubah sinar matahari secara langsung menjadi energi panas atau energi listrik. Penggunaan tenaga surya tidak membutuhkan pembakaran sehingga tidak menghasilkan gas buang berupa gas rumah kaca yang dapat berdampak negatif untuk lingkungan.

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi energi surya rata-

rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9% (Kementrian ESDM, 2018).

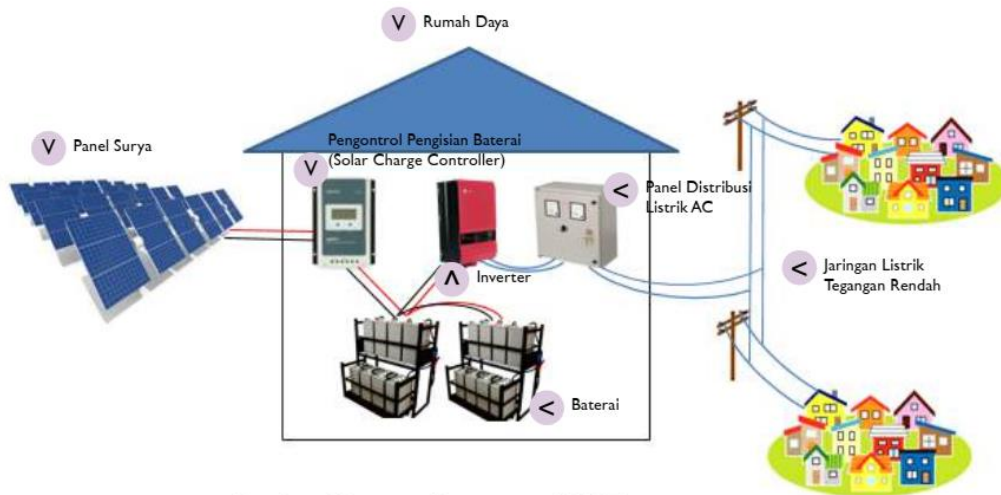
Bahan dasar untuk menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi adalah bahan semi konduktor. Biasanya bahan yang digunakan adalah jenis silikon berwarna hitam yang dibuat menjadi lempengan dan dipasang tiang agar dapat diarahkan langsung pada matahari. Teknologi yang sudah diterapkan dalam pemanfaatan energi surya adalah teknologi energi surya termal dan energi surya fotovoltaik.

Energi surya termal pada umumnya digunakan untuk memasak (kompor surya), mengeringkan hasil pertanian (perkebunan, perikanan, kehutanan, tanaman pangan) dan memanaskan air. Energi surya fotovoltaik digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik, pompa air, televisi, telekomunikasi, dan lemari pendingin di Puskesmas dengan kapasitas total +- 6 MW. Pemanfaatan energi surya khususnya dalam bentuk SHS (*Solar Home Systems*) sudah mencapai tahap semi komersial (Kementrian ESDM, 2018). Komponen utama SESF adalah sel fotovoltaik (pengubahan sinar matahari menjadi listrik), sistem penyeimbang "BOS", penyimpanan energi (baterai) dan perangkat pendukung lainnya seperti inverter untuk pompa, sistem pusat dan sistem *hybrid*.

2.4 Komponen-Komponen PLTS

Pada sistem fotovoltaik, jumlah listrik yang dikumpulkan oleh sistem fotovoltaik tergantung dengan cuaca. Saat hari cerah, banyak listrik yang

dihasilkan, sedangkan saat berawan, sedikit listrik yang dihasilkan. PLTS merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari komponen-komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung.

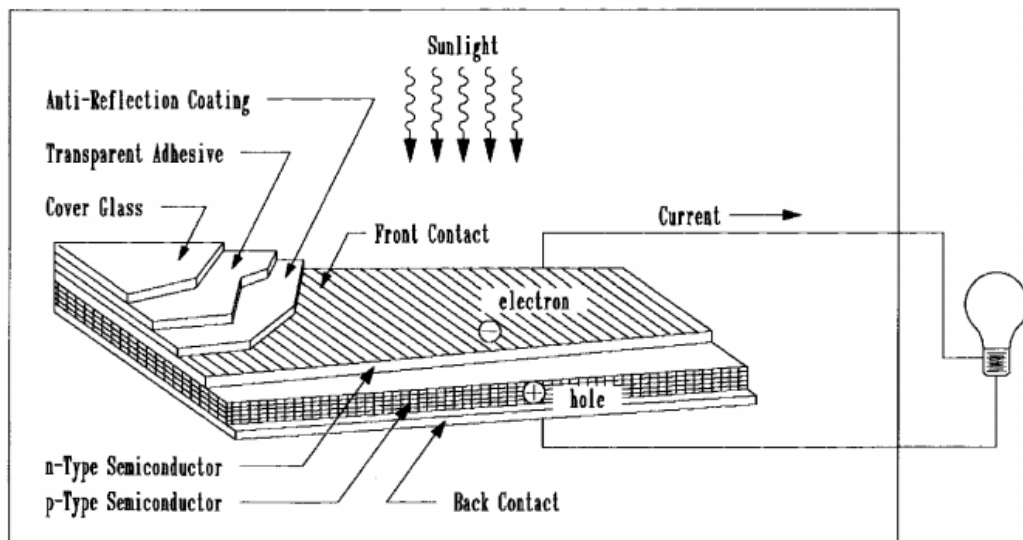


Gambar 2. 5 Diagram Komponen PLTS Terpusat (Development, 2010)

2.4.1 Modul Surya

Dalam sebuah modul surya, terdapat sel-sel fotovoltaik yang merupakan tempat terjadinya efek fotovoltaik. Apabila beberapa modul surya dirangkai, maka akan terbentuk suatu sistem yang disebut pembangkit listrik tenaga surya. Kualitas sebuah modul surya dapat dinilai berdasarkan efisiensinya dalam mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik DC. Modul surya yang memiliki efisiensi lebih tinggi akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan modul surya yang memiliki efisiensi lebih rendah untuk luasan modul yang sama.

Efek fotovoltaik adalah potensial listrik yang dikembangkan antara dua bahan yang berbeda ketika persimpangan bersamanya diterangi dengan radiasi foton. Sel fotovoltaik, dengan demikian, mengubah cahaya langsung menjadi listrik. Efek pv ditemukan pada tahun 1839 oleh fisikawan Prancis Becquerel.



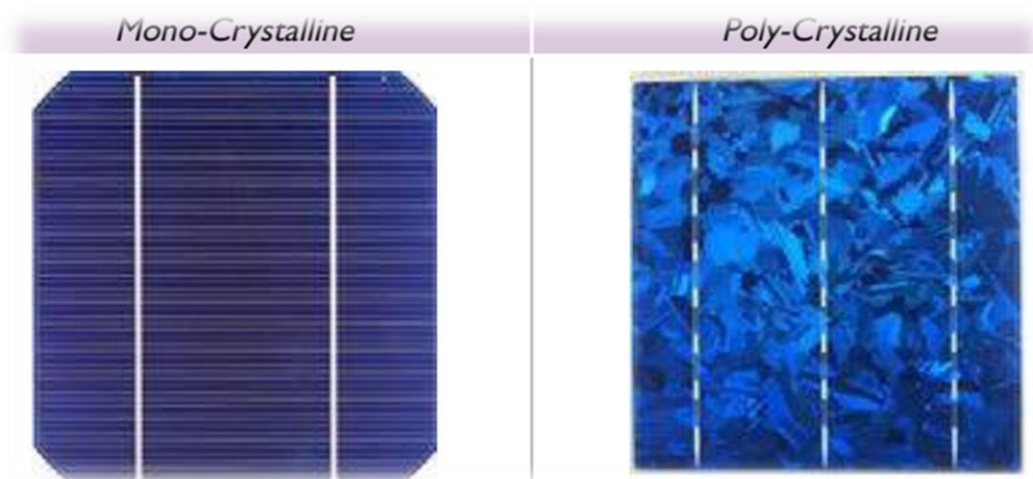
Gambar 2. 6 Konstruksi dasar sel PV dengan fitur peningkatan kinerja (jaring pengumpul arus, lapisan anti-reflektif dan pelindung kaca penutup) (Patel, 2006)

Untuk mengumpulkan arus foton, kontak logam disediakan di kedua sisi persimpangan untuk mengumpulkan arus listrik yang diinduksi oleh foton yang menimpa di satu sisi. Melakukan kontak foil (solder) disediakan di atas permukaan bawah (gelap) dan di salah satu tepi permukaan atas (diterangi). Jala konduktor tipis pada permukaan atas yang tersisa mengumpulkan arus dan membiarkan cahaya masuk.

Jarak serat konduktor dalam jaring adalah masalah kompromi antara memaksimalkan konduktansi listrik dan meminimalkan penyumbatan cahaya.

Selain elemen dasar, beberapa fitur tambahan juga disertakan dalam konstruksi. Misalnya, permukaan depan sel memiliki lapisan anti-reflektif untuk menyerap cahaya sebanyak mungkin dengan meminimalkan pantulan. Perlindungan mekanis disediakan oleh kaca penutup yang diaplikasikan dengan perekat transparan (Patel, 2006).

Efisiensi modul surya, antara lain bergantung pada material sel fotovoltaik dan proses produksinya. Secara umum, sel fotovoltaik terbuat dari material jenis *crystalline* dan *non-crystalline* (film tipis). Untuk jenis *crystalline*, terbagi atas tipe *mono-crystalline* dan tipe *poly-christalline*, dengan efisiensi konversi sekitar 12-20%. Berikut perbandingan antara *poly-crystalline* dan *mono-crystalline*:



Gambar 2. 7 Jenis-Jenis Panel Surya (Development, 2010)

2.4.2 Inverter

Pengondisian tenaga listrik (*power condition*) dan sistem control pada sistem PLTS diperankan oleh inverter, yang memiliki fungsi merubah arus listrik

searah (*direct current*) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak balik (*alternating current*) dan dikontrol kualitas dari daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau ke jaringan listrik. Pada PLTS penggunaan inverter satu fasa biasanya untuk sistem yang bebannya kecil, sedangkan untuk sistem yang besar dan terhubung dengan jaringan utilitas (PLN) biasanya digunakan inverter 3 fasa (Ngurah & Dwijaya, 2019).

2.4.3 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen sebagai penyimpanan daya yang paling umum digunakan. Baterai adalah salah satu komponen penting yang mempengaruhi sistem PLTS terpusat secara keseluruhan. Kinerja dari PLTS dapat dipengaruhi oleh perawatan baterai, masa pakai, daya dan efisiensi yang merupakan parameter dari baterai itu sendiri. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil.

Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun dalam proses pengosongan (*discharge*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (*life time*), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan dari pabrikan. Batas pengosongan dari baterai sering

disebut dengan istilah *depth of discharge (DOD)*, yang dinyatakan dalam satuan persen, biasanya ditentukan sebesar 80% (Ngurah & Dwijaya, 2019).

Pada umumnya baterai penyimpan energi listrik dibagi menjadi dua kategori utama yaitu *primary batteries* dan *secondary batteries*. *Primary batteries* dapat menyimpan dan mengirim energi listrik ke beban, namun tidak dapat diisi kembali (*recharge*) seperti baterai tipe *carbon-zinc* dan *lithium*, jenis ini tidak digunakan pada PLTS. *Secondary batteries* dapat menyimpan dan mengirim energi listrik ke beban dan dapat juga diisi kembali (*recharge*), jenis ini yang digunakan pada sistem PLTS.

Tabel 2. 2 Jenis dan Karakter Baterai Sekunder (Dunlop, n.d.)

Battery Type	Cost	Deep Cycle Performance	Maintenance
Flooded Lead-Acid			
Lead-Antimony	low	good	high
Lead-Calcium Open Vent	low	poor	medium
Lead-Calcium Sealed Vent	low	poor	low
Lead Antimony/Calcium Hybrid	medium	good	medium
Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
Gelled	medium	fair	low
Absorbed Glass Mat	medium	fair	low
Nickel-Cadmium			
Sintered-Plate	high	good	none
Pocket-Plate	high	good	medium

Pada sistem PLTS jenis baterai *lead-acid* lebih banyak digunakan, hal ini dikarenakan ketersediaan kapasitas (Ah) yang ada lebih banyak, lebih murah dan karakteristik performanya yang cocok. Pada beberapa kondisi kritis, seperti kondisi temperatur rendah digunakan baterai jenis *nickel-cadmium*, namun lebih mahal dari segi pembiyaannya.

2.4.4 Charge Controller

Charge Controller merupakan peralatan yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan (*storage*) cadangan energi listrik. *Charge Controller* adalah salah satu jenis perangkat elektronik untuk mengatur pengisian arus searah (DC) dari panel surya ke baterai. *Charge controller* memiliki fungsi untuk memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. *Charge controller* mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai.

Fungsi utama *charge controller* (biasanya pada sistem PLTS *stand-alone*) adalah untuk menjaga atau mempertahankan baterai dari kemungkinan tertinggi *state of charge*, melindungi baterai saat menerima pengisian berlebih (*overcharge*) dari *array*, dengan cara membatasi pengisian energi saat baterai dalam keadaan penuh dan melindungi baterai dari pengosongan berlebih (*overdischarge*) yang dikarenakan beban yang dipikul, dengan cara memutuskan hubungan baterai dengan beban saat baterai menjangkau keadaan *low state of charge* (Dunlop, n.d.).

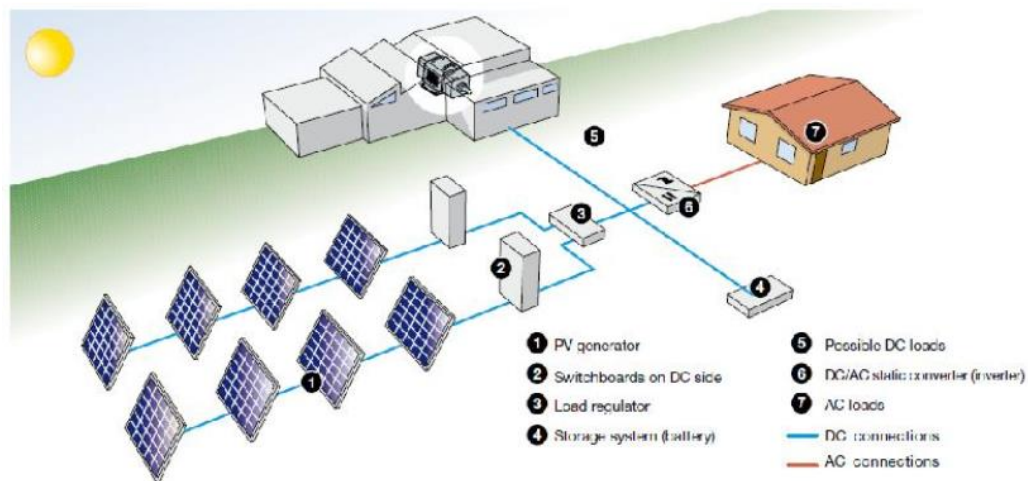
2.5 Sistem PLTS

Berdasarkan lokasi pemasangannya sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem PLTS pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem PLTS pola terpusat (*centralized PV plant*). Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem PLTS tidak

terhubung dengan jaringan (*off-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*) dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (*grid-connected PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *On-grid*. Apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut disebut sistem hibrid. Menurut IEEE *standard* 929-2000 sistem PLTS dibagi menjadi tiga kategori, yaitu PLTS skala kecil dengan batas 10 kW atau kurang, skala menengah dengan batas antara 10 kW hingga 500 kW, skala besar dengan batas di atas 500 kW (Omran, 2010).

2.5.1 PLTS Off-Grid

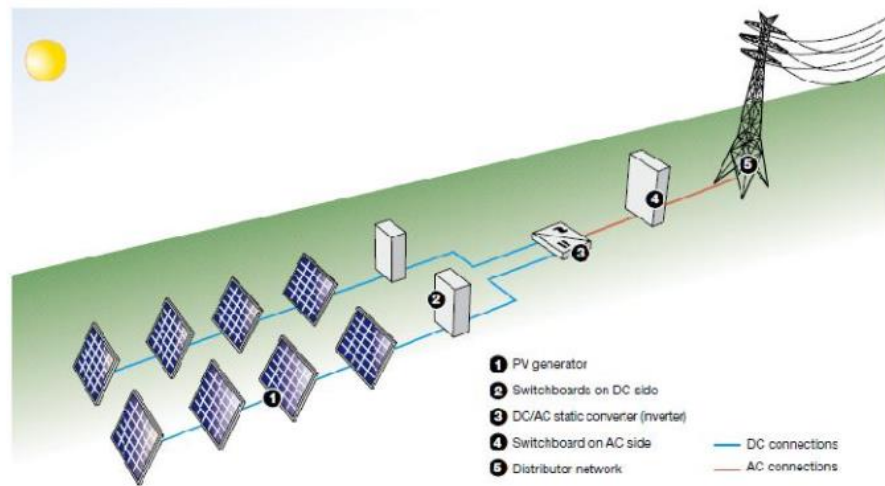
PLTS *Off-Grid* merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini berdiri sendiri dan sering disebut *stand-alone sistem*. sistem dengan pola pemasangan tersebar (*distributed*) dan dengan kapasitas pembangkitan skala kecil. Biasanya sistem ini dilengkapi dengan sistem penyimpanan (*storage*) tenaga listrik dengan media penyimpanan berupa baterai. Diharapkan baterai mampu menjamin ketersediaan pasokan listrik untuk beban listrik saat kondisi cuaca sedang mendung dan kondisi malam hari. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, PLTS *Off-Grid Domestic* dan PLTS *Off-Grid Non-Domestic*.



Gambar 2. 8 Diagram Prinsip PLTS Stand-Alone (Ngurah & Dwijaya, 2019)

2.5.2 PLTS On-Grid

PLTS On-Grid merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan. Berdasarkan pola operasi penyaluran tenaga listrik sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, sistem penyimpanan (*storage*) atau disebut Grid-connected PV with a battery backup, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut Grid-connected PV without a battery backup. Baterai pada PLTS On-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan atau grid mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (*excess power*) yang dibangkitkan oleh PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, Grid-connected distributed PV dan Grid-connected centralized PV.



Gambar 2. 9 Diagram Prinsip PLTS Grid-Connected (Ngurah & Dwijaya, 2019)

2.5.3 PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* merupakan jenis PLTS yang pengoperasiannya digabungkan dengan jenis pembangkit listrik lain dengan sumber energi berbeda (dua atau lebih). Dalam upaya menyediakan pasokan tenaga listrik ke suatu sistem, guna mendapatkan kehandalan sistem yang lebih baik, yang berkelanjutan atau kontinyu dan menggunakan manajemen operasi tertentu. Selain itu penggunaan sistem *hybrid* bertujuan agar dalam pengusahaan energi listrik lebih ekonomis. Contoh PLTS hibrid yaitu, PLTS-genset, PLTS-mikrohidro, PLTS-angin.



Gambar 2. 10 Contoh PLTS *Hybrid*, PLTS-PLTD (Ngurah & Dwijaya, 2019)

2.6 Kapasitas Komponen PLTS

2.6.1 Jumlah Panel Surya

Daya (*wattpeak*) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi, diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

a. Menghitung Area Array

Dalam pembangunan PLTS dibutuhkan area yang digunakan untuk menyusun modul *photovoltaic* menjadi suatu *array* tertentu. Berdasarkan (Nugroho, 2016) adapun untuk menghitung area *array* yang dibutuhkan dapat menggunakan rumus berikut :

$$PV \text{ Area} = \frac{EL}{G_{av} \times \eta_{pv} \times PR} \quad (2.1)$$

Dimana:

EL = Pemakaian energi (kWh/hari).

Gav = Insolasi harian matahari rata-rata (kWh/m²/hari).

η_{pv} = Efisiensi panel surya.

PR = *Performance Ratio*.

$$PR = \eta_{inv} \times \eta_{pv_inv} \times \eta_{inv_load} \times f_{man} \times f_{dirt} \times f_{temp} \quad (2.2)$$

Dimana:

η_{inv} = Efisiensi *inverter*.

η_{pv_inv} = Efisiensi pengkabelan antara PV dan inverter

η_{Inv_load} = Efisiensi pengkabelan antara inverter dan beban

f_{man} = Faktor koreksi disebabkan proses manufaktur

f_{dirt} = Faktor koreksi disebabkan pengotor

f_{temp} = Faktor koreksi disebabkan temperature lingkungan

b. Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS (watt peak)

Dari perhitungan area *array* maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (*Watt peak*) dapat diperhitungkan sebagai berikut berdasarkan (Nugroho, 2016):

$$P_{watt\ peak} = PV\ area \times PSI \times \eta_{pv} \quad (2.3)$$

Dimana:

PSI = Peak Solar Insolation, yaitu 1000 W/m².

η_{pv} = Efisiensi panel surya.

Selanjutnya berdasarkan besar daya yang akan dibangkitkan, maka jumlah panel surya yang diperlukan dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P \text{ watt peak}}{PMPP} \quad (2.4)$$

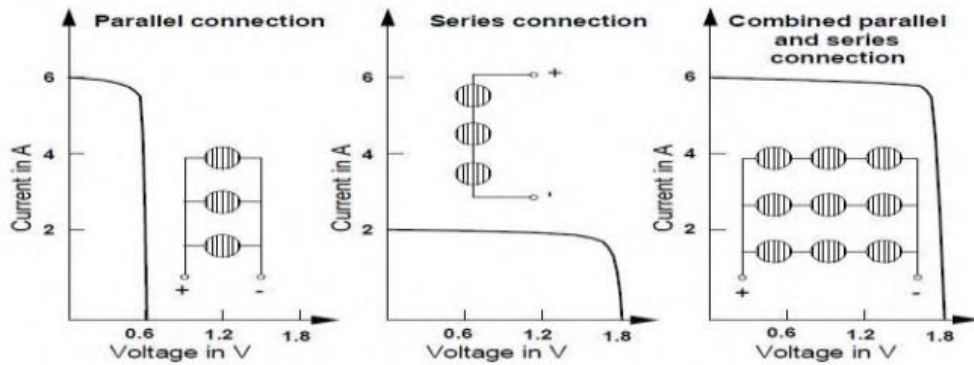
Dimana:

$P \text{ watt peak}$ = Daya yang dibangkitkan (Wp).

$PMPP$ = Daya maksimum keluaran panel surya (W).

Untuk memperoleh besar tegangan, arus dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, maka panel-panel surya tersebut harus dikombinasikan secara seri dan parallel dengan aturan sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan keluaran panel surya, maka dua buah (lebih) panel surya harus dihubungkan secara seri.
2. Untuk memperoleh arus keluaran yang lebih besar dari arus keluaran panel surya, maka dua buah (lebih) panel surya harus dihubungkan secara paralel.
3. Untuk memperoleh daya keluaran yang lebih besar dari daya keluaran panel surya dengan tegangan yang konstan maka panel-panel surya harus dihubungkan secara seri dan paralel.



Gambar 2. 11 Rangkaian Panel Surya

2.6.2 Kapasitas Baterai

Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian menurut, dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{N \times Ed}{Vs \times DOD \times \eta} \quad (2.5)$$

Dimana:

C = Kapasitas baterai (Ah)

N = Hari tanpa matahari (hari)

Ed = Konsumsi energi harian (kWh)

Vs = Tegangan baterai (Volt)

DOD = Kedalaman maksimum pengosongan baterai

η = Efisiensi baterai

2.6.3 Kapasitas Charge Controller

Charge controller diperlukan untuk melindungi baterai dari pengosongan dan pengisian berlebih. Masukan atau keluaran untuk *Charge controller* disesuaikan dengan arus keluaran *array* dan tegangan baterai.

2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Istilah Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (PLH), adalah sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit listrik yang terintegrasi, biasanya gabungan antara generator konvensional (Mesin Diesel atau Gas) dan energi terbarukan (Abadi, 2011). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah/Biogas.

Di seluruh dunia kini ada ribuan sistem PLH beroperasi dan jumlahnya terus bertambah, mulai dari ukuran beberapa puluh Watt hingga puluhan kiloWatt. Beberapa keuntungan sistem PLH adalah: (1) meningkatkan kehandalan sistem dalam memenuhi beban, (2) mengurangi emisi dan polusi, (3) menyediakan distribusi listrik kontinyu, (4) meningkatkan usia sistem, dan (5) mengurangi biaya biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik (Irawan, 2012).

Di Indonesia, sistem pembangkit listrik hibrida ini telah dibangun di 25 lokasi yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, salah satunya pada tahun 2010 Pemerintah Indonesia membangun proyek percontohan pengembangan energi sistem hibrida di perkampungan nelayan pantai Pandansimo Kabupaten

Bantul Yogyakarta. PLH di Pandansimo tersebut dibangun dengan memanfaatkan energi kincir angin dan panel surya (Abadi, 2011).

Suatu sistem PLH biasanya dibangun dari: (1) inverter dengan 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 sistem control otomatis, (3) sistem penyimpanan yang biasanya berupa *Bank Battery Leadacid* dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu, (4) Sistem Pembangkit Energi Terbarukan seperti *Photovoltaic* dilengkapi *Regulator*, dan (5) sistem kontrol berbasis *mikroprosesor* untuk keperluan monitoring dan otomasi manajemen sistem (Kunaifi, 2010).

2.8 HOMER

Perangkat lunak HOMER ini dikembangkan oleh The National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA yang bekerjasama dengan Mistaya Engineering, dimana hak ciptanya dilindungi oleh Midwest Research Institute (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE). HOMER digunakan untuk mendesain sistem pembangkit listrik hibrida dengan menggabungkan energi konvensional dan energi terbarukan (Bachtiar & Syafik, 2016).

Homer bekerja berdasarkan 3 hal yaitu, simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan demi mendapatkan hasil yang optimal. Tahap pertama adalah simulasi, dimana tahap ini menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-

komponen tersebut dapat bekerja Bersama dalam periode waktu tertentu (Windarta et al., 2019).

Tahap selanjutnya adalah proses optimasi, proses optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimasi, Homer mengurutkan nilai *Net Present Cost* (NPC) yang terendah hingga tertinggi. Sebuah sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan.

Homer mensimulasikan konfigurasi sistem yang berbeda-beda, apabila konfigurasi sistem tidak layak, maka Homer tidak akan menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa melakukan simulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang (NPC) terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus dan akurat (Lambert et al., 2006).

Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (input) berbeda beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukkan beberapa nilai variabel sensitivitas. Pada tahap ini, pengguna homer dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitivitas. Contohnya termasuk harga listrik pada jaringan

transmisi, harga bahan bakar, suku bunga pertahun, dan lain-lain dimana parameter tersebut dapat berubah setiap tahunnya.

2.9 Analisis Ekonomi Kelayakan Investasi

2.9.1 Analisis Ekonomi

1. Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Biaya siklus hidup (LCC) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Hidayat et al., 2015) :

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \quad (2.6)$$

Dimana:

LCC = Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost)

Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk

C = pembelian komponen-komponen PLTS, biaya instalasi dan biaya lainnya misalnya biaya untuk rak penyangga

MPW = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek

RPW = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek. Contohnya adalah biaya untuk penggantian baterai

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.7)$$

Dimana:

P = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek

A = Biaya tahunan

i = Tingkat diskonto

n = Umur proyek

Perbandingan yang valid antara penerimaan-penerimaan di masa mendatang dengan pengeluaran dana sekarang adalah hal yang sulit dilakukan karena ada perbedaan nilai waktu uang. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan konsep nilai waktu uang (*Time Value of Money*). Berdasarkan konsep tersebut maka penerimaan-penerimaan di masa mendatang didiskontokan ke nilai sekarang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada saat ini.

Faktor diskonto (*Discount factor*) adalah faktor yang digunakan untuk menerjemahkan penerimaan-penerimaan di masa mendatang sehingga dapat dibandingkan dengan pengeluaran pada masa sekarang (Ari, 2011). Sedangkan tingkat diskonto yang digunakan untuk menilaisekarangkan penerimaan-penerimaan tersebut dapat berupa tingkat suku bunga pasar

(tingkat suku bunga bank). Adapun rumus faktor diskonto adalah sebagai berikut:

$$DF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2.8)$$

Dimana:

DF = Faktor diskonto

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

2. Biaya Energi (*Cost of Energi*)

Biaya energi merupakan perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama (Ari, 2011). Dilihat dari sisi ekonomi, biaya energi PLTS berbeda dari biaya energi untuk pembangkit konvensional. Hal ini karena biaya energi PLTS, dipengaruhi oleh biaya-biaya seperti:

- a. Biaya awal (biaya modal) yang tinggi.
- b. Tidak ada biaya untuk bahan bakar.
- c. Biaya pemeliharaan dan operasional rendah.
- d. Biaya penggantian rendah (terutama hanya untuk baterai).

Perhitungan biaya energi suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal (CRF) dan kWh produksi tahunan PLTS.

Faktor pemulihan modal adalah faktor yang digunakan untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama (Ari, 2011). Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.9)$$

Dimana:

CRF = Faktor pemulihan modal.

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

Biaya energi (*Cost of Energi*) PLTS diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC + CRF}{A \text{ kWh}} \quad (2.10)$$

Dimana:

COE = Cost of Energi atau Biaya Energi (Rp/kWh).

CRF = Faktor pemulihan modal

A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun).

2.9.2 Analisis Kelayakan Investasi

1. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilaisekarangkan atas dasar faktor diskonto (*discount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan (Ari, 2011). Untuk menghitung Net Present Value (NPV) dipergunakan rumus sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NFCt}{(1+i)^t} - II \quad (2.11)$$

Dimana:

$NFCt$ = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sampai ke-n.

II = Investasi awal (Initial Investment)

i = Tingkat diskonto.

n = Periode dalam tahun (umur investasi).

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

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

2. Profitability Index (PI)

Profitability Index 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 *Profitability Index* dihitung dengan rumus sebagai berikut (Nugroho, 2016):

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n NFCT(1+i)^{-t}}{II} \quad (2.12)$$

Dimana:

NFCt = Net Cash Flow periode tahun ke-1 sampai 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:

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

3. Discounted Payback Period (DPP)

Payback Period adalah periode lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek (investasi). Sedangkan *Discounted Payback Period*

adalah periode pengembalian yang didiskontokan. *Discounted Payback Period* (DPP) dapat dicari dengan menghitung berapa tahun kas bersih nilai sekarang (PVNCF) kumulatif yang ditaksir akan sama dengan investasi awal. 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 (periode *cut off*).
- b. Investasi dinilai tidak layak, apabila DPP memiliki periode waktu lebih panjang dari umur proyek (periode *cut off*).

4. Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai NPV sama dengan nol (karena nilai sekarang dari arus kas masuk sama dengan investasi awal).

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{X_t}{(1+IRR)^t} \quad (2.13)$$

Dimana:

X_t = *Cashflow* di tahun ke-t

IRR = *Rate of Return*

Apabila IRR digunakan untuk membuat keputusan diterimaditolah, kriteria keputusan adalah sebagai berikut (Nugroho, 2016):

- a. Jika IRR lebih besar dari biaya modal, proyek diterima

- b. Jika IRR lebih kecil dari biaya modal, proyek ditolak

Suatu Proyek investasi dianggap layak apabila nilai IRR investasi tersebut lebih dari pada nilai MARR (*minimum acceptable rate of return*). Nilai MARR ditentukan berdasarkan tingkat bunga bank atau tingkat bunga bank ditambah risk premium yang mencerminkan tingkat resiko dari proyek tersebut serta ditambah tingkat keuntungan yang diharapkan investor. Dalam proyek teknik, biasanya nilai MARR berkisar antara 10%-13%. Sebaliknya, nilai IRR yang berada dibawah nilai MARR menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai $IRR = \text{nilai MARR}$ menunjukkan bahwa pengembalian investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point*).