

SKRIPSI

**STUDI PERANCANGAN *PHOTOVOLTAIC* MODEL *ROOFTOP*
UNTUK SUPLAI ENERGI LISTRIK FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh:

**ABDUL MUHAIMIN
D041 18 1307**



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERANCANGAN PHOTOVOLTAIC MODEL ROOFTOP UNTUK SUPLAI ENERGI LISTRIK FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun dan diajukan oleh

ABDUL MUHAIMIN
D041181307

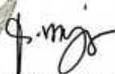
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 27 November 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I,

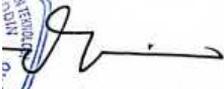
Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. H Ansar Suyuti MT., IPU., ASEAN:Eng. NIP. 196712311992021-001


Dr. Fitriyanti Mavasari, ST., M.T. NIP. 19830714200604 2 001



a Departemen Teknik Elektro


Eng. Ir. Dewiani, M.T., IPM. P. 19691026 199412 2 001

Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Abdul Muhaimin
 NIM : D041181307
 Program Studi : Teknik Elektro
 Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

STUDI PERANCANGAN PHOTOVOLTAIC MODEL ROOFTOP UNTUK
 SUPPLAI ENERGI LISTRIK FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
 HASANUDDIN

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.

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

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

Anabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau i hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima ebut.



Makassar, 19 Januari 2024

g Menyatakan

ul Muhaimin

ABSTRAK

ABDUL MUHAIMIN *Studi Perancangan Photovoltaic Model Rooftop Untuk Suplai Energi Listrik Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin* (dibimbing oleh Ansar Suyuti dan Fitriyanti Mayasari)

Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem *Photovoltaic* (PLTS) model *rooftop* di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (FT-UH), yang memiliki sembilan gedung dengan permukaan atap yang mayoritas berbentuk datar. Tujuan studi ini adalah mengukur kapasitas permukaan *rooftop*, merancang sistem PLTS yang optimal, serta melakukan analisis ekonomi meliputi *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), dan *Internal Rate of Return* (IRR). Dari data yang diperoleh, gedung *Center of Technology* (CoT) memiliki luasan *rooftop* sekitar 780,1 m², *Center of Scientific Activity* (CSA) sebesar 823,6 m², sedangkan gedung Teknik Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi memiliki luasan serupa yakni 1.251 m², dan gedung Perkapalan mencakup 1.090,9 m². Total seluruh luasan *rooftop* mencapai 10.200,9 m². Dengan penggunaan panel surya tipe *Monocrystalline* berkapasitas 430 W, estimasi energi yang dihasilkan tiap gedung per bulan saat radiasi matahari pada titik terendah (Februari) antara lain 18.974 kWh (CoT), 19.987 kWh (CSA), 30.395 kWh (Elektro), dan 26.527 kWh (Perkapalan). Saat radiasi matahari pada puncaknya (Oktober), energi yang dihasilkan mencapai 30.268 kWh (CoT), 31.884 kWh (CSA), 48.487 kWh (Elektro), dan 42.316 kWh (Perkapalan). Secara tahunan, energi yang dihasilkan tiap gedung adalah 297.558 kWh (CoT), 313.447 kWh (CSA), 476.670 kWh (Elektro), dan 416.003 kWh (Perkapalan), dengan total keseluruhan sekitar 3.887.028 kWh. Analisis ekonomi menunjukkan keberlanjutan proyek ini dengan NPV bernilai positif untuk setiap gedung yakni sebesar Rp. 1.102.345.246,5 (CoT), Rp. 1.164.229.890,6 (CSA), Rp. 1.760.087.843,4 (Elektro), dan Rp. 1.529.356.271,6 (Perkapalan). Adapun nilai BCR tiap gedung adalah CoT, Elektro dan Perkapalan didapatkan nilai 1,45, sedangkan untuk gedung CSA 1,46. IRR juga menunjukkan nilai di atas standar, dengan CoT mencatat 10,90%, CSA 10,92%, Elektro 10,88%, dan Perkapalan 10,85%.

Kata Kunci: PLTS Atap, PLTS *On-Grid*, Analisis Ekonomi



ABSTRACT

ABDUL MUHAIMIN: *A Study on the Design of a Rooftop Photovoltaic Model for Electrical Energy Supply at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University (supervised by Ansar Suyuti and Fitriyanti Mayasari)*

This research focuses on designing a rooftop Photovoltaic (PLTS) system at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University (FT-UH), which comprises nine buildings with predominantly flat roof surfaces. The study aims to measure the available rooftop surface capacity, devise an optimal PLTS system, and perform economic analysis encompassing Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), and Internal Rate of Return (IRR). From the data gathered, the Center of Technology (CoT) building has a rooftop area of about 780,1 m², the Center of Scientific Activity (CSA) covers 823,6 m², while the buildings of Electrical Engineering, Class Room, Architecture, Civil, Mechanical, and Geology have a similar area of 1.251 m², and the Naval Engineering building spans 1.090.9 m². The combined rooftop area totals 10.200.9 m². Using Monocrystalline solar panels with a capacity of 430 W, the estimated monthly energy output during the lowest solar radiation includes 18.974 kWh (CoT), 19.987 kWh (CSA), 30.395 kWh (Electrical), and 26.527 kWh (Naval Engineering). At peak solar radiation, the energy output reaches 30.268 kWh (CoT), 31.884 kWh (CSA), 48.487 kWh (Electrical), and 42.316 kWh (Naval Engineering). Annually, each building produces energies of 297.558 kWh (CoT), 313.447 kWh (CSA), 476.670 kWh (Electrical), and 416.003 kWh (Naval Engineering), with a combined total of around 3.887.028 kWh. Economic analysis indicates project feasibility with a positive NPV for each building: Rp. 1.102.345.246,5 (CoT), Rp. 1.164.229.890,6 (CSA), Rp. 1.760.087.843,4 (Electrical), and Rp. 1.529.356.271,65 (Naval Engineering). The BCR for CoT, Electrical, and Naval Engineering buildings is 1.45, while the CSA building's is 1.46. The IRR exceeds standard values, with CoT at 10.90%, CSA at 10.92%, Electrical at 10.88%, and Naval Engineering at 10.85%.

Keywords: Rooftop PV Systems, On-Grid PV System, Economic Analysis.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Studi Perancangan *Photovoltaic* Model *Rooftop* untuk Suplai Energi Listrik Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta Ayahanda Abdul Rahim, S.Pd. dan Ibunda Hj. Sulmiah serta Abdul Gaffar dan Abdul Mutakabbir yang selalu mendoakan serta menyemangati penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Fitriyanti Mayasari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, ide, dan saran dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji penulis serta memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh staf Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu maupun pengalaman yang membantu dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
5. Teman seperjuangan di Lab Riset Instalasi dan Distribusi (Iqbal Firaldi dan yahbrian Ariadi) yang selalu membantu dan menjadi rekan yang selalu ensupport dalam penyelesaian skripsi ini.



6. Herianto dan teman-teman Muncha's House yang selalu memberikan bantuan, saran, dan menjadi rekan diskusi dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Teman-teman CAL18RATOR (Elektro 2018) yang selalu menemani, berbagi kebahagiaan, waktu, dan kebersamaan serta memberikan semangat, motivasi, dan dukungan selama masa studi.
8. Teman-teman Kerja Praktek PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan PLTA Bakaru atas bantuan dan kerjasamanya selama masa KP hingga saat ini.
9. Saudara seperkumpulan (Grup Buah-buahan) yang telah menjadi rumah kedua penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang telah terlibat membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT memberikan lindungan kepada kita semua.

Gowa, 09 November 2023

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya	5
2.1.1 Prinsip Kerja PLTS	5
2.1.2 Cara Kerja Sel Surya	6
2.1.3 Komponen Sistem PLTS	7
2.2. Jenis – Jenis PLTS	10
2.2.1 <i>On-Grid System</i>	10
2.2.2 <i>Off-Grid System</i>	11
2.2.3 <i>Hybrid PLTS</i>	11
2.3. Analisis Ekonomi	12
2.3.1 <i>Life Cycle Cost</i>	12
2.3.2 <i>Cost Of Energy</i>	14
2.3.3 <i>Payback Periode</i>	14
2.3.4 <i>Net Present Value</i>	14
2.3.5 <i>Benefit Cost Ratio</i>	15
2.3.6 <i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	17
Lokasi dan Tempat Penelitian	17
Metode Penelitian	17
Alat dan Bahan	17
Data yang Diperlukan	17



3.5	Prosedur Penelitian	18
3.6	Diagram Alir Penelitian	19
3.7	<i>Optimal Design</i>	20
3.8	Tahap Perancangan.....	20
3.9	Tahap Analisis Ekonomi.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	Kapasitas Permukaan <i>Rooftop</i> Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin ...	23
4.3	Perancangan Kapasitas PLTS Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin	28
4.4	Menghitung Besar Daya Keluaran PLTS	39
4.5	Analisis Ekonomi Sistem PLTS Tanpa Baterai dan Menggunakan Baterai	40
BAB V PENUTUP		84
5.1	Kesimpulan	84
5.2	Saran	86
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN		93



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Prinsip Kerja PLTS.....	6
Gambar 2 Sel Surya	7
Gambar 3 Flowchart Penelitian	19
Gambar 4 Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung COT	34
Gambar 5 Rancangan Panel Surya menggunakan Baterai pada Gedung COT	35
Gambar 6 Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung CSA	36
Gambar 7 Rancangan Panel Surya menggunakan Baterai pada Gedung CSA	36
Gambar 8 Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung Perkapalan.....	37
Gambar 9 Rancangan Panel Surya menggunakan baterai pada Gedung Perkapalan.....	37
Gambar 10 Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung Elektro.....	38
Gambar 11 Rancangan Panel Surya menggunakan Baterai pada Gedung Elektro	39



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1 Data luas permukaan tiap gedung pada FT-UH.....	23
Tabel 2 Data Pemakaian Energi Gedung Elektro FT-UH.....	24
Tabel 3 Data radiasi matahari pada posisi kampus FT-UH	24
Tabel 4 Spesifikasi panel surya monocrystalline	25
Tabel 5 Spesifikasi inverter 150 kW.....	26
Tabel 6 Spesifikasi inverter 200 kW.....	27
Tabel 7 Spesifikasi inverter 225 kW.....	27
Tabel 8 Keluaran PLTS.....	39
Tabel 9 Hasil perhitungan radiasi matahari dan energi yield.....	40
Tabel 10 Biaya investasi awal untuk gedung CoT tanpa baterai.....	40
Tabel 11 Biaya investasi awal untuk gedung CoT menggunakan baterai	41
Tabel 12 Biaya investasi awal untuk gedung CSA tanpa baterai.....	41
Tabel 13 Biaya investasi awal untuk gedung CSA menggunakan baterai.....	42
Tabel 14 Biaya investasi awal untuk gedung Elektro tanpa baterai	42
Tabel 15 Biaya investasi awal untuk gedung Elektro menggunakan baterai.....	42
Tabel 16 Biaya investasi awal untuk gedung <i>Class Room</i> tanpa baterai.....	43
Tabel 17 Biaya investasi awal untuk gedung <i>Class Room</i> menggunakan baterai.....	43
Tabel 18 Biaya investasi awal untuk gedung Arsitektur tanpa baterai.....	43
Tabel 19 Biaya investasi awal untuk gedung Arsitektur menggunakan baterai.....	44
Tabel 20 Biaya investasi awal untuk gedung Sipil tanpa baterai	44
Tabel 21 Biaya investasi awal untuk gedung Sipil menggunakan baterai.....	44
Tabel 22 Biaya investasi awal untuk gedung Mesin tanpa baterai.....	45
Tabel 23 Biaya investasi awal untuk gedung Mesin menggunakan baterai.....	45
Tabel 24 Biaya investasi awal untuk gedung Geologi tanpa baterai	45
Tabel 25 Biaya investasi awal untuk gedung Geologi menggunakan baterai.....	46
Tabel 26 Biaya investasi awal untuk gedung Perkapalan tanpa baterai	46
Tabel 27 Biaya investasi awal untuk gedung Perkapalan menggunakan baterai ..	46
Tabel 28 Biaya operasional dan pemeliharaan PLTS tanpa baterai (O&M)	47
Tabel 29 Biaya operasional dan pemeliharaan PLTS menggunakan baterai (O&M)	47
Tabel 30 Perbandingan <i>Cost of Energy</i> tiap gedung tanpa baterai dan menggunakan baterai.....	52
Tabel 31 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung CoT tanpa baterai.....	53
Tabel 32 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung CoT menggunakan baterai.....	54
Tabel 33 Pengolahan alur kas PLTS gedung CSA tanpa baterai	55
Tabel 34 Pengolahan alur kas PLTS gedung CSA menggunakan baterai	56
Tabel 35 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Elektro tanpa baterai	57
Tabel 36 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Elektro menggunakan baterai	58
Tabel 37 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung <i>Class Room</i> tanpa baterai.....	59
Tabel 38 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung <i>Class Room</i> menggunakan baterai	60
Tabel 39 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Arsitektur tanpa baterai	61



Tabel 40 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Arsitektur menggunakan baterai	62
Tabel 41 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Sipil tanpa baterai	63
Tabel 42 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Sipil menggunakan baterai	64
Tabel 43 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Mesin tanpa baterai	65
Tabel 44 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Mesin menggunakan baterai..	66
Tabel 45 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Geologi tanpa baterai	67
Tabel 46 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Geologi menggunakan baterai	68
Tabel 47 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Perkapalan tanpa baterai.....	69
Tabel 48 Pengolahan alur kas PLTS pada gedung Perkapalan menggunakan baterai	70
Tabel 49 Hasil analisis ekonomi PLTS tanpa baterai	83
Tabel 50 Hasil analisis ekonomi PLTS menggunakan baterai.....	83



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan sumber energi yang sangat penting dalam kehidupan manusia, baik itu kegiatan industri, kegiatan komersial maupun kehidupan rumah tangga sehari-hari (Priyandono, 2017; Sasono, 2022). Listrik dibutuhkan untuk kebutuhan penerangan, serta proses produksi yang melibatkan elektronika dan alat/mesin industri (Prakoso & Mulyanto, 2022; Priyandono, 2019). Mengingat pentingnya energi listrik serta terbatasnya ketersediaan energi untuk pembangkitan terutama dari sumber yang tidak terbarukan, maka diperlukan langkah-langkah strategis untuk menjaga keberlanjutan energi tersebut guna mendukung penyediaan tenaga listrik yang optimal dan terjangkau.

Penggunaan tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan mendasar di kehidupan sehari-hari yang menyebabkan penggunaan energi listrik secara global semakin meningkat karena pertumbuhan dan perkembangan populasi (Diantari et al., 2019; Rosadi & Amar, 2019; Saragih et al., 2020). Sumber daya fosil tidak menjadi pilihan berkelanjutan untuk masa depan, karena sumber energinya tidak dapat diperbarui dan berperan terhadap pencemaran lingkungan (Pertiwinigrum et al., 2023). Oleh karena itu, penggunaan sumber energi fosil perlu dikurangi dan digantikan oleh sumber daya energi yang tidak terbatas. Pada saat ini, energi matahari menjadi salah satu pilihan sumber energi alternatif karena ketersediaannya yang tidak terbatas (Yuwono et al., 2021). Penggunaan energi matahari yang digunakan dalam sistem *photovoltaic* memiliki tingkat pencemaran yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik bersumber daya fosil (Rega et al., 2021). Hal tersebut membuat teknologi *photovoltaic* salah satu yang paling diminati dalam energi terbarukan (Luis Hernandez Callejo, 2019).

Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan *photovoltaic* sebagai salah satu sumber energi pengganti fosil mengingat posisinya yang terletak pada garis ekuator dan memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun (Dahlan, 2019; Rudawin et al., 2020; Saputra, 2020). Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) potensi



energi surya di Indonesia yakni sekitar 4.8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp (ESDM, 2020).

Daerah perkotaan di mana terpusatnya berbagai kegiatan menyebabkan permintaan energi akan sangat besar dan terus meningkat. Sumber energi lokal, bersih, dan melimpah (energi matahari) menjadi suatu tolak ukur dalam pembangkit listrik yang digunakan demi keberlanjutan energi (C, M. Brito, 2017). Daerah perkotaan banyak dijumpai gedung-gedung tinggi yang memanfaatkan energi matahari sebagai penghasil energi (Prilliadi et al., 2021). Terutama kampus yang memiliki beberapa gedung dapat memanfaatkan panel surya sebagai penghasil energi. Selain untuk memenuhi kebutuhan listriknya, dapat juga menghasilkan *income*, ketika kelebihan energinya dijual dan dapat menjadi objek edukasi bagi mahasiswa (Willy, 2018).

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dibangun di lahan seluas 40 hektare, yang terdiri dari 9 gedung terpakai dan beberapa gedung yang masih dalam tahap pembangunan. FT-UH memiliki konstruksi gedung yang sebagian besar berbentuk datar pada permukaan atapnya. Permukaan atap yang datar dan kosong ini memberikan potensi yang besar dan mudah untuk dilakukan pemasangan sistem PLTS. Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini diangkat judul yaitu “STUDI PERANCANGAN *PHOTOVOLTAIC* MODEL *ROOFTOP* UNTUK SUPPLAI ENERGI LISTRIK FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung kapasitas permukaan *rooftop* yang tersedia pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana merancang sistem PLTS yang sesuai pada *rooftop* Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?



3. Bagaimana menghitung *Net Present Value*, *Benefit Cost Rasio*, dan *Internal Rate of Return (IRR)* dari rancangan PLTS pada *rooftop* gedung Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?

4. Bagaimana perbandingan nilai ekonomi tanpa baterai dan menggunakan baterai dari rancangan PLTS pada rooftop gedung Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Menghitung kapasitas permukaan *rooftop* yang tersedia pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Merancang sistem PLTS yang sesuai pada *rooftop* Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Menghitung *Net Present Value*, *Benefit Cost Ratio*, dan *Internal Rate of Return (IRR)* dari rancangan PLTS pada *rooftop* gedung Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Membandingkan nilai ekonomi dari rancangan tanpa baterai dan menggunakan baterai dari PLTS rooftop gedung Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini :

1. Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai penambahan referensi untuk pengembangan sistem PLTS kedepannya pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Mendapatkan perhitungan potensi daya dan analisis ekonomi dari perancangan PLTS pada *rooftop* Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bagi peneliti maupun pembaca, dapat membuka wawasan lebih luas tentang sistem PLTS.

1.5 Batasan Masalah

Batasan pada penelitian ini meliputi :

embahasan mengenai perancangan PLTS *rooftop* di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



2. Spesifikasi untuk setiap komponen dalam sistem yang dimodelkan akan disesuaikan dengan ketersediaan dan keterjangkauan harga.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar penyusunan proposal tugas akhir ini lebih teratur dan sistematis penulisannya maka hal-hal yang dibahas dibagi dalam beberapa bab yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori penunjang dan referensi terkait PLTS yang diambil dari berbagai sumber ilmiah dan metode yang digunakan dalam perhitungan daya keluaran serta perhitungan ekonomis pemasangan PLTS.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang rancangan penelitian, waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat, teknik pengumpulan data, serta langkah-langkah penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian yang memuat data yang diperoleh serta dengan pembahasan mengenai hasil penelitian tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan menyeluruh dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran-saran untuk perbaikan penelitian ini ke depannya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

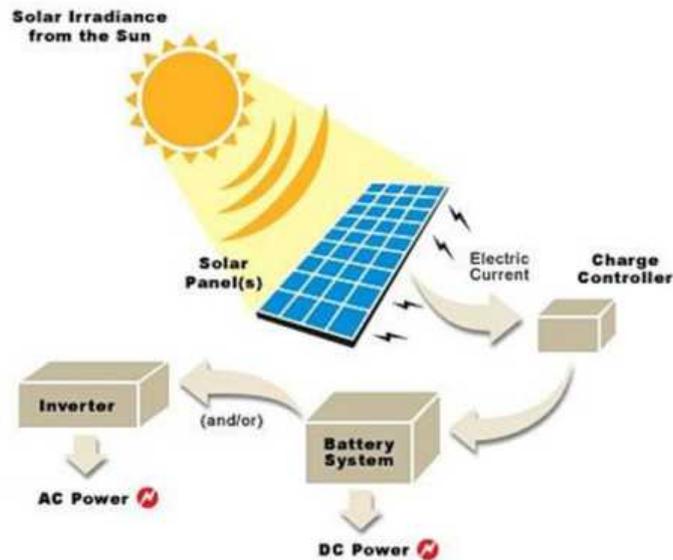
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi untuk memenuhi kebutuhan energi di era sekarang ini. PLTS mengubah sinar matahari langsung menjadi energi listrik (Mandiri, 2023; Muslim et al., 2020; Sifa, 2023). Berdasarkan jenis energi yang berasal dari matahari yaitu panas dan cahaya, sistem tenaga surya dibagi menjadi dua jenis (*solar thermal* dan PLTS). Umumnya *solar thermal* memanfaatkan panas matahari sebagai pemanas air, sedangkan PLTS mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi listrik dengan modul *photovoltaic* (PV) yang menghasilkan listrik arus searah (DC) (Albahar & Haqi, 2020; Chairat, 2020). Peralatan listrik rumah tangga yang hampir seluruhnya menggunakan listrik arus bolak-balik *Alternating Current* (AC) menyebabkan perlunya *inverter* untuk mengubah arus DC yang dihasilkan PV menjadi arus AC.

PLTS beroperasi tanpa menimbulkan polusi suara dan mengurangi pencemaran lingkungan, masa pakai yang lama hingga 30 tahun dengan biaya perawatan yang relatif rendah (Nainggolan et al., 2023). Walaupun modal awal yang dibutuhkan sangat besar, namun energi yang dihasilkan setelah beroperasi selama 4 tahun akan menggantikan energi yang digunakan untuk membuatnya. Misalkan waktu pelayanan adalah 20 tahun, maka setelah beroperasi selama 4 tahun, energi yang dikeluarkan selama 15 tahun tidak memerlukan biaya (Willy, 2018).

2.1.1 Prinsip Kerja PLTS

Pada siang hari modul surya menerima sinar matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*.





Gambar 1. Prinsip Kerja PLTS

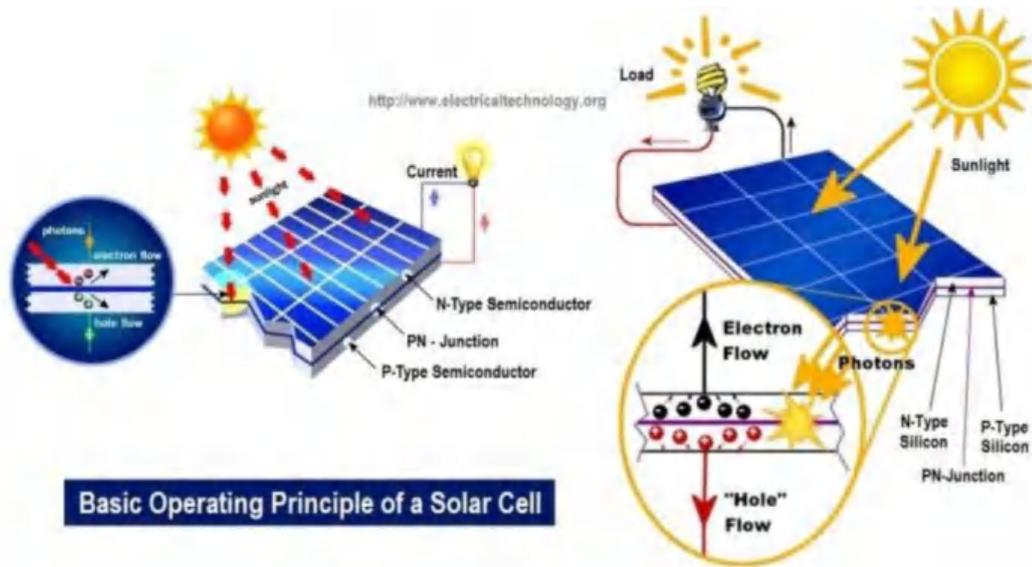
(Sumber : Alifyanti et al., 2018)

Listrik yang dihasilkan modul dapat langsung dialirkan ke beban atau disimpan di baterai sebelum digunakan untuk beban : lampu, radio, dan lain-lain. Pada malam hari, ketika modul surya tidak menghasilkan listrik, beban disuplai sepenuhnya oleh baterai. Begitu juga jika hari mendung, dimana modul surya menghasilkan listrik lebih sedikit dibandingkan saat matahari cerah. Modul surya dengan kapasitas tertentu dapat menghasilkan jumlah listrik yang berbeda ketika ditempatkan di area yang berbeda (Clara, 2020).

2.1.2 Cara Kerja Sel Surya

Prinsip kerja sel surya ini dimulai dari partikel yang disebut “Foton”, Foton adalah partikel sinar matahari yang sangat kecil, dan juga partikel matahari tersebut menghantam atom semikonduktor sel surya sehingga dapat menimbulkan energi yang besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya, elektron yang terpisah dan bermuatan negatif tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor, sehingga atom yang kehilangan elektron tersebut kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan “Hole” muatan positif.





Gambar 2. Prinsip Kerja Sel Surya
(Sumber : Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019)

Daerah Semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan Semikonduktor tipe N. Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole* bersifat positif dan bertindak sebagai penerima elektron yang dinamakan dengan Semikonduktor tipe P. Di persimpangan daerah positif dan negatif akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan *hole* untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi daerah positif. Ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif ini, maka akan menimbulkan arus listrik (Widharma, 2020).

2.1.3 Komponen Sistem PLTS

a. Panel Surya (PV)

Panel surya adalah perangkat rakitan sel-sel *photovoltaic* yang mengkonversi sinar matahari menjadi listrik. Ketika memproduksi panel surya, produsen harus



tan bahwa sel-sel surya saling terhubung secara elektrik antara satu dengan pada sistem tersebut (Marniati, 2018; Rudiyanto et al., 2023; Swastika et al.). Sel surya juga perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis

karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai yang diharapkan. Panel surya biasanya memiliki umur 20+ tahun yang biasanya dalam jangka waktu tersebut pemilik panel surya tidak akan mengalami penurunan efisiensi yang signifikan (Marniati, 2018; Panjaitan, 2022).

Namun, meskipun dengan kemajuan teknologi mutakhir, sebagian besar panel surya komersial saat ini hanya mencapai efisiensi 15% dan hal ini tentunya merupakan salah satu alasan utama mengapa industri energi surya masih tidak dapat bersaing dengan bahan bakar fosil (Panjaitan, 2022). Panel surya komersial sangat jarang yang melampaui efisiensi 20%. Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari (untuk memastikan efisiensi maksimum) (Marniati, 2018).

Panel surya modern memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal. Perlindungan *overheating* penting dikarenakan panel surya mengkonversi kurang dari 20% dari energi surya yang ada menjadi listrik, sementara sisanya akan terbuang sebagai panas, dan tanpa perlindungan yang memadai kejadian *overheating* dapat menurunkan efisiensi panel surya secara signifikan (Emge, 2020; Subandi, 2017).

Panel surya sangat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut (Marniati, 2018). Adapun jenis-jenis panel surya sebagai berikut :

- *Monocrystalline*

Monocrystalline merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. *Monocrystalline* dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari-nya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan (Idris, 2021; Naibaho, 2018; Pratomo, 2022; Putra & Muhammad

2022). *Monocrystalline* dibuat dari *silicon* kristal tunggal yang didapat dari *silicon* dalam bentuk bujur. Sekarang *Monocrystalline* dapat dibuat



setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi hingga 24% (Haryanti et al., 2021; Masykur & Hidayat, 2020; Sitorus et al., 2016; Wibowo, 2021).

- *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal *silicon* yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Kemurnian kristal *silicon polycrystalline* tidak setinggi *monocrystalline* sehingga efisiensinya sekitar 13-16%. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama (Sitohang, 2019). Akan tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*, sehingga mengurangi ruang kosong antar sel surya. Selain itu *polycrystalline* mempunyai toleransi terhadap suhu yang rendah. Sehingga dalam hal performa, *polycrystalline* tidak menyerap panas dan suhu permukaan *polycrystalline* tidak panas dan tetap bekerja secara maksimal (Purwaningsih, 2017).

- *Thin Film Photovoltaic*

Thin Film Photovoltaic merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis *monocrystalline* dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5%, sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per-watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Inovasi terbaru dari *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara (Arif Nugroho, 2020)

b. Inverter

Inverter adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai peng kondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang kemudian akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau

listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu inverter fase *lar Home System* (SHS) yang bebannya kecil dan inverter 3 fasa untuk PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN (Arif Nugroho, 2020).



c. Baterai/ Aki

Baterai atau aki adalah penyimpan energi listrik pada saat matahari tidak ada. Secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka baterai dibedakan untuk *automotive*, *marine* dan *deep cycle*. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi tipe basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Mat*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dengan VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*). Baterai yang cocok digunakan untuk PV adalah baterai *deep cycle lead acid* yang mampu menampung kapasitas 100 Ah, 12 V, dengan efisiensi sekitar 80%. Waktu pengisian baterai/aki selama 12 jam - 16 jam (Sigit Sukmajati, 2015).

2.2. Jenis – Jenis PLTS

2.2.1 On-Grid System

PLTS *on-grid* atau *grid-connected PV plant* merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (Rezky Ramadhana et al., 2022). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu sistem dengan penyimpanan (*storage*) atau disebut *grid-connected PV with a battery back-up*, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut *grid-connected PV without a battery back-up*.

Baterai pada PLTS *on-grid* berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (*excess power*) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *grid-connected distributed PV* dan *grid connected centralized PV* (Setiawan, 2014). Prinsip kerja PLTS sistem *on-grid* dapat diuraikan berikut ini :

Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik DC. Selanjutnya sebuah komponen yang disebut *inverter* merubah listrik arus DC tersebut dari PV menjadi arus AC yang dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga. Jadi setiap hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan



energi ini dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan. Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendukung maka peralatan akan tetap disuplai PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN.

Selain itu sistem PLTS *on-grid* ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau *back-up* energi. Sistem ini disebut sebagai *grid-connected PV system with battery back-up*. Sistem ini berfungsi sebagai *back-up* energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.

2.2.2 Off-Grid System

PLTS *off-grid* merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini berdiri sendiri, sering disebut dengan *stand-alone system*. Sistem ini biasanya merupakan sistem dengan pola pemasangan tersebar (*distributed*) dan dengan kapasitas pembangkitan skala kecil. Untuk sistem ini biasanya dilengkapi dengan *storage* tenaga listrik dengan media penyimpanan baterai. Diharapkan baterai mampu menjamin ketersediaan pasokan listrik untuk beban listrik saat kondisi cuaca mendung dan kondisi malam hari. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu PLTS *off-grid domestic* dan PLTS *off-grid non domestic* (Setiawan, 2014).

2.2.3 Hybrid PLTS

Pengertian hibrida adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hibrida pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu. Sistem hibrida atau Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan untuk meminimalisir beban listrik dari sumber PLN sehingga dapat menghemat anggaran. PLTH memanfaatkan *renewable energy* sebagai sumber utama (primer) yang



dikombinasikan dengan generator BBM sebagai sumber energi cadangan (sekunder) (Saodah, S., & Amalia, R. 2013).

Salah satu penggunaan sistem *Hybrid* adalah penggunaan PLTS dengan *Generator Set* (Genset). Penggunaan sistem *Hybrid* ini memungkinkan PLTS dapat menutupi kekurangan dari genset dan begitupun sebaliknya. Dengan memanfaatkan teknologi ini, ketergantungan masyarakat listrik dari PLN dapat dikurangi bahkan dapat dihilangkan sehingga masyarakat dapat menjadi masyarakat yang mandiri energi (Hariyanto, 2012).

2.3. Analisis Ekonomi

Dalam melakukan analisis ekonomi terhadap sistem PLTS terdapat beberapa indikator yang sering digunakan, yaitu *Life Cycle Cost*, *Pay Back Periode*, *Net Present Value*, *Internal Rate of Return*, *Cost of Energy*, dan *Benefit Cost Ratio*.

2.3.1 *Life Cycle Cost*

Life Cycle Cost (LCC) sistem PLTS dihitung dari penjumlahan antara biaya investasi awal dan biaya *present value* operasional dan *maintenance* (O&M). Perhitungan besar O&M sistem PLTS per tahun sebesar 1-2 % dari total biaya investasi awal dari system PLTS. Setelah mempertimbangkan kondisi iklim dan cuaca di lokasi pemasangan sistem PLTS, maka besar O&M per tahun ditentukan 1 % dari total biaya investasi awal dari system PLTS. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai LCC panel surya.

$$LCC = S + O\&M + R \quad (2.1)$$

Dimana,

LCC = *Life Cycle Cost*

S = Biaya investasi awal

O&M = Biaya Operasional dan *maintenance*

R = Biaya penggantian komponen



$$O\&Mp = O\&M \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2.2)$$

Dimana,

- S = Investasi Awal
 $O\&M_p$ = Biaya *Present Value* $O\&M$
 $O\&M$ = Biaya $O\&M$ per tahun
 i = Tingkat Bunga Bank
 n = Lama Proyek

2.3.1.1 *Present Worth Factor (PWF) / Discount Factor*

PWF adalah metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai dari seluruh biaya pemeliharaan tahunan selama sistem digunakan pada tahun ke sekian dengan menggunakan persamaan berikut (TS Ong, 2013).

$$PWF = \frac{1}{(1 + r)^n} \quad (2.3)$$

Dimana: r = Tingkat bunga bank,
 n = Jumlah tahun

2.3.1.2 *Cash Flow Analysis (CFA)*

Cash Flow Analysis adalah laporan besarnya kas masuk dan kas keluar selama satu periode dari aktivitas operasi, investasi dan pembiayaan (TS Ong, 2013)

a. *Cash Flow Benefit (CFB)*

Cash Flow Benefit adalah aliran uang masuk disetiap tahun selama sistem berjalan. adapun perhitungan nilai CFB menggunakan Persamaan (2.4).

$$CFB = \sum_{t=0}^n Cost (1 + 0,0425) \quad (2.4)$$

b. *Cash Flow Cost (CFC)*

Cash Flow Cost adalah aliran uang keluar di setiap tahun selama sistem bekerja. Untuk menghitung CFC digunakan Persamaan (2.5)

$$CFC = \sum_{t=0}^n investasi - PWF \quad (2.5)$$



2.3.2 *Cost of Energy*

Cost of energy dari suatu sistem PLTS adalah hasil bagi antara penjumlahan O&M dengan biaya investasi awal yang telah dikalikan dengan faktor pemulihan modalnya dan total energi yang dihasilkan per tahun. Berikut persamaan dalam menentukan nilai CoE.

$$\text{COE} = \frac{S \times \text{CRF} + \text{O\&M}}{A \text{ kWh}} \quad (2.6)$$

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.7)$$

Dimana,

CRF : *Cost Recovery Factor*

i : tingkat bunga Bank

n : lama proyek

A kWh : total energi yang dihasilkan per tahun

2.3.3 *Payback Period*

Payback period adalah waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali kepada investor. Perhitungan *payback period* dilakukan untuk mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Nilai *payback period* yang semakin kecil akan semakin baik, dengan faktor risiko terhadap pengembalian modal akan semakin cepat dalam waktu yang cepat. Dalam menghitung *payback period* biasa disebut metode *payback* dengan membagi modal awal yang dikeluarkan dengan pendapatan yang diterima oleh pemodal selama satu tahun. Penggunaan *payback period* dalam menghitung efektivitas investasi tetap memiliki batasan. *Payback period* tidak menghitung keuntungan yang didapatkan setelah *payback period* satu memiliki keterbatasan dalam membandingkan dua proyek.



et Present Value

et Present Value atau NPV digunakan untuk menganalisis keuntungan dari atau proyek, formula yang digunakan sensitif terhadap perubahan nilai

mata uang atau barang. NPV membandingkan nilai uang yang diterima hari ini dan nilai uang pada masa mendatang dengan memasukkan variabel inflasi dan laju pengembalian. NPV didasarkan pada teknik *discounted cash flow* (DCF) dengan 3 langkah dasar, yaitu menemukan *present value* dari setiap arus uang, termasuk di dalamnya adalah pemasukan, pengeluaran, dan diskon harga proyek.

NPV adalah perbandingan antara nilai investasi pasar dan biaya itu sendiri. Jika nilai NPV adalah negatif, maka proyek tidak direkomendasikan untuk dilaksanakan, jika nilainya positif, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Nilai NPV bernilai nol berarti tidak ada perbedaan apabila proyek tetap dilaksanakan atau ditolak. Rumus untuk menentukan NPV adalah sebagai berikut.

$$NPV = -S + \sum_t^n = 1 \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (2.8)$$

Dimana,

- i : tingkat bunga Bank
- n : lama kerja modul PV (tahun)
- t : tahun yang akan dihitung (tahun)
- S : investasi awal
- NCF : pendapatan bersih hingga tahun ke-n

2.3.5 *Benefit Cost Ratio*

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah nilai persen yang diperoleh dari suatu pembangkit setelah dibandingkan dengan biaya investasi pembangunan pembangkit dan biaya *operation and maintenance*. Berikut pengertian nilai yang diperoleh dari perhitungan BCR:

- a) Nilai SIR bernilai 1, maka biaya investasi akan diperoleh kembali secara penuh.

ilai SIR bernilai lebih dari 1, maka penghematan akan lebih besar daripada vestasi.



- c) Nilai SIR bernilai kurang dari 1, maka biaya investasi akan lebih besar daripada penghematan sistem.

Jika nilai BCR yang diperoleh 0,5 maka dapat disimpulkan nilai *payback period* yang diperoleh hanya 50% dari total investasi. Namun jika nilai BCR yang diperoleh 1,5 maka penghematan melebihi biaya investasi sebesar 50%. Berikut rumus BCR.

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{S} \quad (2.9)$$

Dimana,

BCR : *Benefit Cost Ratio*

NCF_t : *Net Cash Flow* pada tahun ke- t

t : tahun

S : biaya investasi awal

n : total tahun

i : tingkat bunga bank

2.3.6 Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah nilai tingkat bunga yang menjadi titik keseimbangan antara keseluruhan pengeluaran dan pemasukan. Dengan kata lain, tingkat suku bunga di mana perolehan nilai NPV sama dengan 0 disebut IRR. Metode perhitungan IRR menggunakan investasi dengan menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang dari penerimaan yang diterima dengan nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi. Rumus untuk menghitung IRR adalah sebagai berikut (Clara Inggreastuti, 2020).

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (2.10)$$

Dimana,

NPV_1 : NPV ketika i_1

NPV_2 : NPV ketika i_2

i_1 : *discount rate* rendah

i_2 : *discount rate* tinggi

