Studi Perancangan *Photovoltaic* Model *Rooftop* untuk Suplai Energi Listrik Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Fitriyanti Mayasari[1], Ansar Suyuti[1], dan Abdul Muhaimin[3]

[1] Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Coprespondent Author : fitriyantimaya@unhas.ac.id

***Abstract* — PLTS *rooftop* merupakan salah solusi penyediaan energi terbarukan pada gedung perkantoran maupun universitas, dimana mayoritas gedung ini menggunakan listrik pada siang hari. Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem *Photovoltaic* (PLTS) model *rooftop* di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang memiliki 9 (sembilan) gedung dengan permukaan atap yang mayoritas berbentuk datar. Tujuannya 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). Hasil penelitian menunjukkan, dengan penggunaan panel surya tipe *Monocrystalline* berkapasitas 430 W, estimasi energi yang dihasilkan tiap gedung per bulan saat radiasi matahari pada titik terendah (Februari) berada pada kisaran 18.974 - 48.487 kWh. Saat radiasi matahari pada puncaknya (Oktober), energi yang dihasilkan mencapai 30.268 - 42.316 kWh. Secara tahunan, energi yang keseluruhan sebesar 3.887.028 kWh. Sementara, hasil analisis ekonomi menunjukkan keberlanjutan proyek ini dengan NPV bernilai positif untuk setiap gedung dan nilai BCR diperoleh pada 1,45 – 1,46. IRR juga menunjukkan nilai di atas standar, yaitu 10,85% hingga 10,92%. Selain itu dilakukan perbandingan perancangan sistem dengan dan tanpa baterai, hasilnya menunjukkan pembangunan sistem PLTS *rooftop* lebih layak dilaksanakan tanpa baterai.**

***Keyword* — PLTS *Rooftop*, Sistem PLTS, Panel Surya, Analisis Ekonomi.**

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi yang sangat penting dalam kehidupan manusia, baik kegiatan industri, kegiatan komersial maupun kehidupan sehari-hari [1][2]. Penggunaan tenaga listrik menjadi salah satu kebutuhan mendasar sehingga penggunaan energi listrik semakin meningkat karena pertumbuhan dan perkembangan populasi [3-5]

Penggunaan sumber energi fosil perlu dikurangi dan diganti dengan sumber daya energi yang tidak terbatas. Energi matahari menjadi sumber energi alternatif karena ketersediaannya yang tidak terbatas [6]. Penggunaan energi matahari dalam sistem *photovoltaic* memiliki tingkat pencemaran yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik bersumber daya fosil [7].

Indonesia berpotensi untuk memanfaatkan sistem *photovoltaic* karena terletak pada garis khatulistiwa dan memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun [8]. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) potensi energi surya di Indonesia yakni sekitar 4,8 kWh/m^2 atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp [9].

Daerah perkotaan umumnya memiliki permintaan energi akan sangat besar dan terus meningkat. Sumber energi lokal, bersih, dan melimpah menjadi tolak ukur dalam pembangkit listrik yang digunakan demi keberlanjutan energi [10]. Kampus yang memiliki beberapa gedung dapat memanfaatkan panel surya sebagai penghasil energi.

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin memiliki konstruksi gedung yang sebagian besar berbentuk datar pada permukaan atapnya. Hal ini berpotensi untuk dilakukan pemasangan sistem PLTS. Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan penelitian mengenai studi perancangan *photovoltaic* model *rooftop* untuk suplai energi listrik

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. 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 [11][12]. Berdasarkan jenis energi yang berasal dari matahari, sistem tenaga surya dibagi menjadi dua, yaitu *solar thermal* dan PLTS. *Solar thermal* memanfaatkan panas matahari sebagai pemanas air, sedangkan PLTS mengubah energi matahari langsung menjadi listrik dengan modul *photovoltaic* (PV) yang menghasilkan listrik arus searah (DC) [13]. *Alternating Current* (AC) memerlukan *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 [14].

Pada siang hari modul surya menerima sinar matahari yang selanjutnya diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic.* Listrik yang dihasilkan modul dapat langsung dialirkan ke beban atau disimpan di baterai sebelum digunakan untuk beban. Pada malam hari, ketika modul surya tidak menghasilkan listrik, beban disuplai oleh baterai. Ketika hari mendung, modul surya menghasilkan listrik lebih sedikit dibandingkan saat matahari cerah. Modul surya dengan kapasitas tertentu dapat menghasilkan jumlah listrik yang berbeda saat ditempatkan di area yang berbeda [15].

Prinsip kerja sel surya yaitu partikel foton menghantam atom semikonduktor sel surya sehingga dapat menimbulkan energi untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya,

elektron yang terpisah dan bermuatan negatif bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor, sehingga atom yang kehilangan elektron tersebut kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan *"Hole"* dengan muatan positif. 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 [16].

B. Komponen Sistem PLTS

Panel surya adalah perangkat rakitan sel-sel *photovoltaic* yang mengkonversi sinar matahari menjadi listrik [17-19]. Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari (untuk memastikan efisiensi maksimum) [18]. Panel surya modern memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal. Jenis panel surya yaitu:

1) Monocrystalline

Monocystalline merupakan panel paling efisien yang menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. *Monocrystalline* dirancang untuk penggunaan pada tempat yang beriklim ekstrim. Kelemahan panel ini yaitu tidak berfungsi baik di tempat dengan cahaya kurang [20-22] *Monocrystalline* dibuat dari *silicon* kristal tunggal dengan tebal 200 mikron dan nilai efisiensi hingga 24% [23][24].

2) Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari leburan beberapa batang kristal silicon yang dituang dalam cetakan persegi. Nilai efisiensi jenis panel ini sekitar 13-16%. Tipe ini memerlukan luas permukaan lebih besar daripada *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. *Polycrystalline* dapat disusun rapat sehingga mengurangi ruang kosong antar sel surya. Jenis ini mempunyai toleransi terhadap suhu rendah [22].

3) Thin Film Photovoltaic

Thin Film Photovoltaic merupakan panel surya dengan struktur lapisan tipis *monocrysalline* 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* [25].

Inverter adalah alat yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu inverter fase untuk *Solar Home System* (SHS) yang bebannya kecil dan inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN [25].

Baterai adalah penyimpan energi listrik ketika matahari tidak ada. 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 12-16 jam [26].

C. Jenis-Jenis PLTS

PLTS terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1) On-Grid System

PLTS *on-grid* merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan [27]. Baterai pada PLTS *on-grid* berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *grid-connected distributed PV* dan *grid connected centralized PV* [28].

2) Off-Grid System

PLTS *off-grid* merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini berupa pola pemasangan tersebar dengan kapasitas pembangkitan skala kecil yang dilengkapi dengan *storage* tenaga listrik dengan media penyimpanan baterai. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu PLTS *off-grid domestic* dan PLTS *off-grid non domestic* [28].

3) Hybrid PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) merupakan alternatif sistem pembangkit untuk meminimalisir penggunaan listrik dari sumber PLN sehingga dapat menghemat anggaran. PLTH memanfaatkan *renewable energy* yang dikombinasikan dengan generator BBM [29]. Salah satu penggunaan sistem *Hybrid* adalah penggunaan PLTS dengan *Generator Set* (Genset).

D. Analisis Ekonomi

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. Persamaan (1) dan (2) digunakan untuk menghitung nilai LCC panel surya.

$$LCC = S + O\&M + R \quad (1)$$

Dimana,

S	: Biaya investasi awal
$O\&M$	: Biaya operasional dan *maintenance*
R	: Biaya penggantian komponen

$$O\&Mp = O\&M\ x\ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

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

Present Worth Factor (PWF) / Discount Factor

PWF adalah metode yang digunakan untuk menghitung nilai seluruh biaya pemeliharaan tahunan selama sistem digunakan pada tahun ke sekian dengan menggunakan Persamaan (3) [30].

$$PWF = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (3)$$

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

Cash Flow Analysis (CFA) dan Cash Flow Benefit (CFB)

Cash Flow Analysis adalah laporan besarnya kas masuk dan kas keluar selama satu periode dari aktivitas operasi, investasi dan pembiayaan [30]. Sementara *Cash Flow Benefit* adalah aliran uang masuk disetiap tahun selama sistem berjalan. Adapun perhitungan nilai CFB diberikan pada Persamaan (4).

$$CFB = \sum_{t=0}^{n} Cost\ (1 + 0{,}0425) \quad (4)$$

Cash Flow Cost (CFC)

Cash Flow Cost adalah aliran uang keluar di setiap tahun selama sistem bekerja. Persamaan (5) digunakan untuk menghitung CFC.

$$\text{CFC} = \sum_{t=0}^{n} investasi - PWF \quad (5)$$

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. Menggunakan Persamaan (6), nilai CoE dapat ditentukan.

$$COE = \frac{S\ x\ CRF + O\&M}{kWh}$$

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7)$$

Dimana,
CRF : *Cost Recovery Factor*
i : tingkat bunga Bank
n : lama proyek
kWh : total energi yang dihasilkan per tahun

3) Payback Period

Payback period adalah waktu yang dibutuhkan agar investasi yang telah dikeluarkan kembali kepada investor. 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.

4) Net Present Value (NPV)

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. Untuk menentukan NPV digunakan Persamaan (8).

$$NPV = -S + \sum_{t}^{n} = 1\frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (8)$$

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

5) Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah nilai persen yang diperoleh dari suatu pembangkit setelah dibandingkan dengan biaya investasi pembangunan pembangkit dan biaya O&M, diberikan pada Persamaan (9).

$$BCR = \frac{\sum_{t}^{n} = 1\frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{S} \quad (9)$$

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

6) Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat bunga yang menjadi titik keseimbangan antara keseluruhan pengeluaran dan pemasukan. 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 [15]:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2}\ (i_2 - i_1) \quad (10)$$

Dimana,
NPV_1 : NPV ketika i_1
NPV_2 : NPV ketika i_2

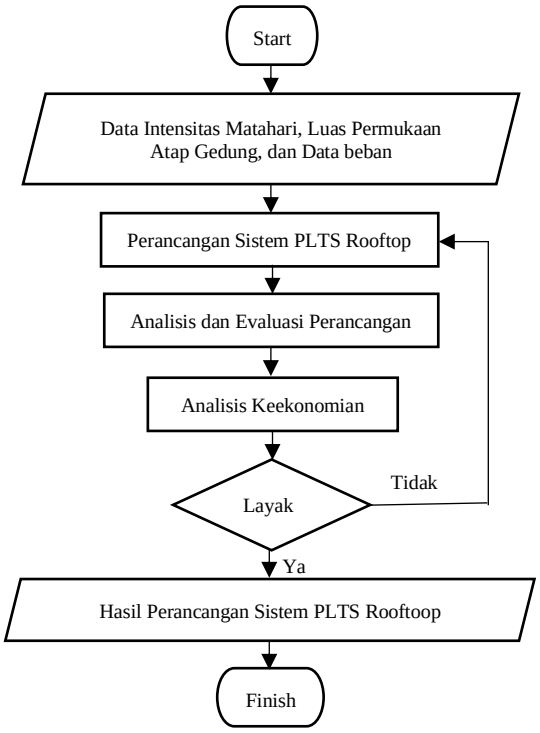
i_1 : *discount rate* rendah
i_2 : *discount rate* tinggi

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2022 – Oktober 2023 dan bersifat kuantitatif, yaitu pengumpulan data luas permukaan *rooftop* dan intensitas cahaya matahari. Tempat pelaksanaan pengambilan data penelitian bertempat di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino KM.6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan.

Data penelitian adalah data intensitas cahaya matahari, luas permukaan atap gedung, dan data beban, serta harga terbaru komponen PLTS (untuk analisis keekonomian).

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian, dimana setelah pengumpulan data input, dilakukan perancangan sistem PLTS *rooftop*. Hasil perancangan selanjutnya dianalisis dan dievaluasi secara teknis berdasarkan data beban pada gedung, kemudian dilakukan analisis ekonomis untuk melihat kelayakan sistem yang telah dirancang.

B. Data Penelitian

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin memiliki 9 gedung yang permukaan atapnya memiliki 2 model yaitu berbentuk datar dan limas segiempat. Namun perancangan PLTS ini hanya menggunakan permukaan atap yang berbentuk datar. Data luas permukaan atap tiap gedung ini diperoleh dari hasil pengukuran langsung pada lokasi yang digunakan. Tabel I memberikan data luas permukaan *rooftop* tiap gedung FT Unhas, sementara Tabel II memberikan data pemakaian pada salah satu gedung di FT Unhas (Departemen Teknik Elektro. Adapun untuk data radiasi matahari yang diambil dari *Meteonorm* 8.1 dimana pengukuran sepanjang 10 tahun terakhir diberikan pada Tabel III.

TABEL I.
DATA LUAS PERMUKAAN TIAP GEDUNG PADA FT UNHAS

Gedung	**Luas (m^2)**
Center of Technology (CoT)	780,1
Center of Scintific Actifity (CSA)	823,59
Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi memiliki luasan yang sama.	1.251,0417
Perkapalan	1.090,97
Total	**10.200,9102**

TABEL II.
DATA PEMAKAIAN ENERGI GEDUNG ELEKTRO FT UNHAS

Hari	**Rata-rata kWh**
Senin	398,79
Selasa	287,12
Rabu	798,32
Kamis	484,78
Jum'at	439,62
Sabtu	162,42
Minggu	144,47
Rata-rata/hari	**387,93**

TABEL III.
DATA RADIASI MATAHARI PADA POSISI KAMPUS FT UNHAS

Bulan	**Global Horizontal Irradiation/ GHI(kWh/m^2)**
Januari	161
Februari	126
Maret	149
April	159
Mei	158
Juni	148
Juli	172
Agustus	195
September	187
Oktober	201
November	170
Desember	153
Tahunan	1976

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Kapasitas Sistem PLTS Rooftop

Pada penelitian ini dilakukan perancangan menggunakan panel surya tipe *Monocrystalline* dengan P_{max} yaitu 430 W dengan merek *Maxeon* 3 Solar Panel dari *SunPower*. Adapun untuk spesifikasi panel surya yang digunakan diberikan pada Tabel IV.

TABEL IV.
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Parameter	Nilai
Daya Nominal	430 W
Toleransi Daya	+5/0%
Efisiensi Panel	22,7%
Rating Tegangan (Vmpp)	70,4 V
Rating Arus (Impp)	6,11 A
Tegangan Open-Circuit (Voc)	81,4 V
Tegangan Short-Circuit (Isc)	6,57 A
Tegangan Max Sistem	1000 V IEC

Inverter yang digunakan adalah tipe string dengan masing-masing kapasitas 150 kW dengan merek GROWATT, 200 kW merek SUN2000, dan 225 kW dengan merek GOODWE. Tabel V memberikan spesifikasi inverter yang digunakan.

TABEL V.
SPESIFIKASI INVERTER

***Data Sheet* Inverter 150 kW**	
Input DC	
Daya PV Rekomendasi Max (untuk modul STC)	204.000 W
Tegangan DC Max	195 V
Tegangan Nominal	720 V
Range Tegangan Nominal	180 – 1000 V
Jumlah MPP *Tracker*	10
Jumlah String PV per MPP Tracker	2
Arus Input Max per MPP Tracker	32 A
Arus Short-Circuit Max per MPP Tracker	40 A
Output AC	
Daya Nominal	150.000 W
Daya Maksimal	160.000 VA
Tegangan Nominal (Range)	277 V / 480 V 422 – 528 VAC
Frekuensi Grid (Range)	50/60 Hz (45~55 Hz/59,5 – 60,5 Hz)
Arus Output Max	198,5 A
Efisiensi	
Efisiensi Maksimal	99,00 %
Efisiensi MPPT	99,90 %

1) Perhitungan Daya yang Dibangkitkan

Dari perhitungan luas *area array*, daya yang dihasilkan oleh sistem PV *(watt-peak)* dapat dihitung dengan luas area *array*. *Peak Sun Insolation* (PSI) sebesar 1000 W/m^2, dan efisiensi modul surya sebesar 22,7%. Diperoleh nilai P watt *peak* senilai 177.082 W (CoT), 186.954 W (CSA), 283.986 W (Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi), serta 247.650 W (Perkapalan).

2) Penentuan Jumlah Panel Surya

Panel surya yang akan digunakan dalam perencanaan sistem ini memiliki kapasitas sebesar 430 Wp. Berdasarkan nilai tersebut, jumlah panel surya yang dibutuhkan untuk sistem yaitu 412 panel (CoT), 434 panel (CSA), 660 panel (Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi), serta 576 panel (Perkapalan).

3) Penentuan Kapasitas Inverter

Nilai kapasitas PV masing-masing 147 kW (CoT), 155 kW (CSA), 236 kW (Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi), 206 kW (Perkapalan).

4) Penentuan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai yang terpasang secara umum dirancang menurut *Days of Autonomy* yang sangat tergantung pada kebutuhan beban yang perlu disuplai. Dengan mengasumsikan bahwa tiap gedung FTUH harus bisa mengatasi kesulitan energi secara absolut selama 4 hari penuh, maka :

$$E_{Rough} = P_{TotalPV}\ x\ DoA$$
$$E_{Rough} = 387{,}93\ \text{kWh}\ x\ 4$$
$$E_{Rough} = 1551{,}7\ \text{kWh}$$

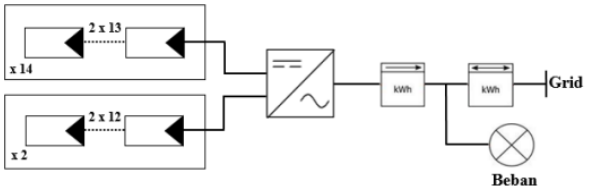
Dengan mengasumsikan bahwa baterai akan beroperasi di atas *State of Charge* (SoC), maka MdoD memiliki nilai 0,8 sehingga kapasitas aman yang perlu dapat disimpan mencapai sebagai berikut :

$$E_{Safe} = \frac{E_{Rough}}{MDoD}$$
$$E_{Safe} = \frac{1551{,}7}{0{,}8}$$
$$E_{Safe} = 1939{,}65\ \text{kWh}$$

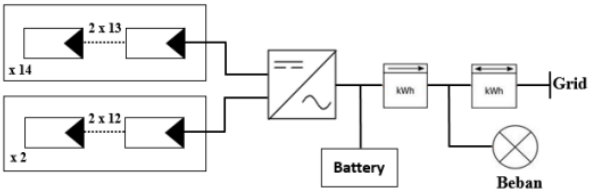
Dari hasil perhitungan di atas diperoleh baterai dengan kapasitas 2064 kWh dengan merek LUNA2000-2.0MWH *Series Smart String* ESS.

5) Penentuan Rangkaian panel Surya

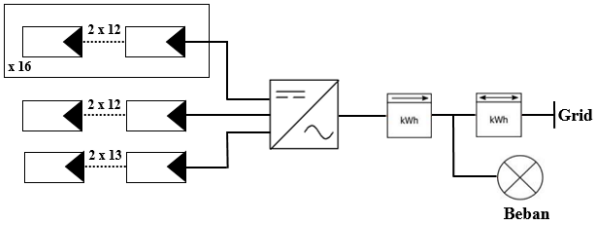
Penentuan konfigurasi ini dilakukan untuk menentukan daya total yang dihasilkan oleh panel surya. Jika tujuannya adalah untuk meningkatkan arus, panel-panel tersebut dihubungkan secara paralel, sedangkan jika tujuannya adalah untuk meningkatkan tegangan, panel-panel tersebut perlu dihubungkan secara seri.



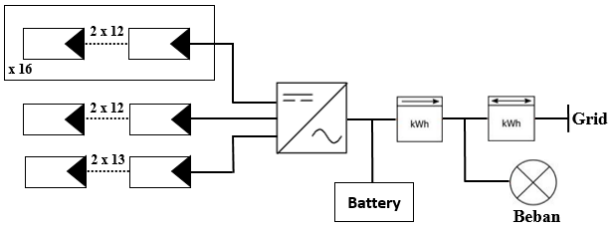
Gambar 2. Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung COT



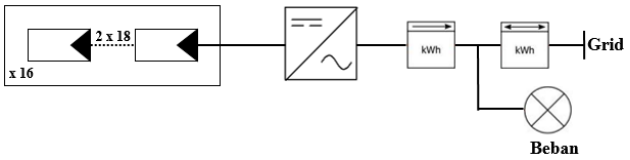
Gambar 3. Rancangan Panel Surya Menggunakan Baterai pada Gedung COT



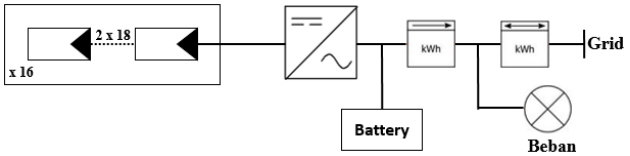
Gambar 4. Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung CSA



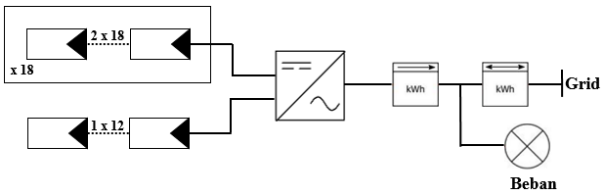
Gambar 5. Rancangan Panel Surya menggunakan Baterai pada Gedung CSA



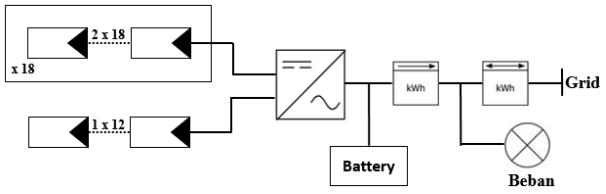
Gambar 6. Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung Perkapalan



Gambar 7. Rancangan Panel Surya menggunakan Baterai pada Gedung Perkapalan



Gambar 8. Rancangan Panel Surya tanpa Baterai pada Gedung Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi.



Gambar 9. Rancangan Panel Surya menggunakan Baterai pada Gedung Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi.

B. Analisis Keluaran Sistem PLTS Rooftop

Asumsi rugi (*Losses*) sistem PLTS adalah 15%, karena keseluruhan komponan yang digunakan masih baru. *Losses* terjadi karena beberapa faktor seperti kotoran, temperatur, dan kabel penghantar sebesar ±10% dan *factory losses* 5%. Perhitungan energi yang dihasilkan PLTS per bulan menggunakan data radiasi matahari terendah dan tertinggi yakni pada bulan Februari sebesar 126 kWh/m^2 dan pada bulan oktober sebesar 201 kWh/m^2. Sedangkan perhitungan energi yang dibangkitkan per tahun, data yang digunakan adalah *Peak Sun Hour* (PSH) tahunan yaitu 1976 h/m^2. Keluaran dari PLTS diberikan pada Tabel VI.

TABEL VI.
KELUARAN PLTS

Gedung	Losses 15% (Watt/ Bulan)	Energi saat Radiasi Terendah (kWh/ Bulan)	Energi saat Radiasi Tertinggi (kWh/ Bulan)	Energi saat Radiasi Total/Tahun (kWh/ Tahun)
CoT	150.586	18.974	30.268	297.558
CSA	158.627	19.987	31.884	313.447
Elektro	241.230	30.395	48.487	476.670
Class Room	241.230	30.395	48.487	476.670
Arsitektur	241.230	30.395	48.487	476.670
Sipil	241.230	30.395	48.487	476.670
Mesin	241.230	30.395	48.487	476.670
Geologi	241.230	30.395	48.487	476.670
Perkapalan	210.528	26.527	42.316	416.003

Energi keseluruhan yang dihasilkan PLTS pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin setiap tahun adalah 3.887.028 kWh.

C. Analisis Keekonomian

Hasil analisis keekonomian dari sistem yang telah dirancang diberikan pada Tabel VII untuk sistem tanpa baterai dan sistem dengan baterai diberikan pada Tabel VIII.

TABEL VII.
HASIL ANALISIS EKONOMI SISTEM PLTS TANPA BATERAI

Gedung	Analisis Ekonomi			
	NPV (Rp)	BCR	PP	IRR (%)
CoT	1.102.345.246,55	1,45	0,69	10,90
CSA	1.164.229.890,60	1,46	0,69	10,92
Elektro	1.760.087.843,43	1,45	0,69	10,88
Class Room	1.760.087.843,43	1,45	0,69	10,88
Arsitektur	1.760.087.843,43	1,45	0,69	10,88
Sipil	1.760.087.843,43	1,45	0,69	10,88
Mesin	1.760.087.843,43	1,45	0,69	10,88
Geologi	1.760.087.843,43	1,45	0,69	10,88
Perkapalan	1.529.356.271,65	1,45	0,69	10,85

TABEL VIII.
HASIL ANALISIS EKONOMI SISTEM PLTS DENGAN BATERAI

Gedung	Analisis Ekonomi			
	NPV (Rp)	BCR	PP	IRR (%)
CoT	-4.267.880.249,21	0,41	2,4	-26,68
CSA	-4.205.995.605,15	0,43	2,3	-24,41
Elektro	-3.610.137.652,32	0,58	1,7	-11,01
Class Room	-3.610.137.652,32	0,58	1,7	-11,01
Arsitektur	-3.610.137.652,32	0,58	1,7	-11,01
Sipil	-3.610.137.652,32	0,58	1,7	-11,01
Mesin	-3.610.137.652,32	0,58	1,7	-11,01
Geologi	-3.610.137.652,32	0,58	1,7	-11,01
Perkapalan	-3.840.869.224,10	0,53	1,87	-14,65

Berdasarkan Tabel VII dan VIII terlihat bahwa perencanaan PLTS model *rooftop* pada FT-UH tanpa dapat dikatakan layak dibandingkan menggunakan baterai. Pada sistem ini, tidak direkomendasikan menggunakan baterai karena tidak layak secara ekonomi dan beban hanya digunakan pada siang hari.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancangan sistem PLTS *on-grid*, energi yang dihasilkan PLTS tiap gedung perbulan pada saat radiasi matahari terendah yaitu 18.974 kWh (CoT), 19.987 kWh (CSA), 30.395 kWh (Elektro), 26.527 kWh (Perkapalan), sedangkan pada saat radiasi matahari tertinggi yaitu 30.268 kWh (CoT), 31.884 kWh (CSA), 48.487 kWh (Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Geologi), 42.316 kWh (Perkapalan). Untuk energi yang dibangkitkan PLTS tiap gedung per tahun adalah 297.558 kWh (CoT), 313.447 kWh (CSA), 476.670 kWh (Elektro, *Class Room*, Arsitektur, Sipil, Mesin, dan Pertambangan), 416.003 kWh (Perkapalan). Total energi keseluruhan yang dihasilkan setiap tahun adalah 3.887.028 kWh.

Sementara berdasarkan analisis ekonomi, didapatkan nilai dari rancangan tanpa baterai, NPV bernilai positif untuk semua gedung, dan pada rancangan menggunakan baterai, nilai NPV negatif untuk semua gedung. Selain itu, nilai BCR berkisar 1,45 – 1,46 (BCR > 1) pada semua gedung dengan sistem tanpa baterai dan BCR < 1 untuk sistem dengan baterai. Besar IRR 10,85 – 10,92% atau IRR>i pada sistem PLTS tanpa baterai dan menggunakan baterai, diperoleh IRR< i.

Berdasarkan perbandingan Analisis Ekonomi dari Perencanaan PLTS model *rooftop* pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dapat diketahui bahwa perencanaan tanpa baterai lebih layak dibandingkan menggunakan baterai.

DAFTAR ACUAN

[1] Priyandono, B. (2017). *Penghematan Sumber Daya Listrik Di Masyarakat Studi Eksperimen Di Kelurahan Neglasari Kec. Cibeunying Kaler Bandung*. Jurnal Tedc, 11(1), 3.

[2] Sasono, S. H. W. (2022). *Rancang Bangun Sistem Pencatatan Kwh Meter Berbasis Web*. *Orbith*, *18*(3)

[3] Diantari, R. A., Darmana, T., Zaenal, Z., Hidayat, S., Jumiati, J., Soewono, S., & Indradjaja, I. M. (2019). *Sosialisasi Energi Baru Terbarukan Dan Lingkungan Hidup Untuk Masyarakat Desa Sukawali Kab. Tangerang, Banten*. Terang, 2(1), 53–59.

[4] Rosadi, M., & Amar, S. (2019). *Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Listrik Di Indonesia*. Jurnal Kajian Ekonomi Dan Pembangunan, 1(2).

[5] Saragih, I. C., Hartama, D., & Wanto, A. (2020). *Prediksi Perkembangan Jumlah Pelanggan Listrik Menurut Pelanggan Area Menggunakan Algoritma Backpropagation*. Building Of Informatics, Technology And Science (Bits), 2(1), 48–53.

[6] Yuwono, S., Diharto, D., & Pratama, N. W. (2021). *Manfaat Pengadaan Panel Surya Dengan Menggunakan Metode On Grid*. Energi & Kelistrikan, 13(2), 161–171.

[7] Rega, M. S. N., Sinaga, N., & Windarta, J. (2021). *Perencanaan Plts Rooftop Untuk Kawasan Pabrik Teh Pt Pagilaran Batang*. Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 9(4), 888.

[8] Rudawin, L., Rajabiah, N., & Irawan, D. (2020). *Analisa Sistem Kerja Photovoltaic Berdasarkan Sudut Kemiringan Menggunakan Monocrystalline Dan Polycrystalline*. Turbo, 9(1).

[9] ESDM. (2020, 10 23). P*LTS Rooftop Untuk Gedung Perkantoran*. Retrieved from ebtke.esdm.go.id/post/2015/03/11/800/plts.rooftop.untuk.gedung.perkantoran

[10] C, M. Brito, dkk, *The Importance of Facades for the Solar PV Potential of a Mediterranian City Using LiDAR data*, Science Direct.

[11] Mandiri, P. T. B. C. (2023). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Rooftop Kantor*. Jurnal Spektrum Vol, 10(2).

[12] Muslim, S., Khotimah, K., & Azhiimah, A. N. (2020). *Analisis Kritis Terhadap Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Tipe Photovoltaic (Pv) Sebagai Energi Alternatif Masa Depan*. Rang Teknik Journal, 3(1), 119–130.

[13] Chairat, A. S. N. (2020). *Sosialisasi Pemanfaatan Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Di Desa Ciherang Pondok, Kabupaten Bogor*. Terang, 2(2).

[14] Nainggolan, H., Nuraini, R., Sepriano, S., Aryasa, I. W. T., Meilin, A., Adhicandra, I., Putri, E., Andiyan, A., & Prayitno, H. (2023). *Green Technology Innovation: Transformasi Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Sektor*. Pt. Sonpedia Publishing Indonesia.

[15] Inggreastuti, Clara. 2020. *Simulasi Pemanfaatan Kombinasi Energi Hidro dan Surya Sebagai Pembangkit Listrik untuk Menyuplai Kebutuhan Daya Listrik Harian*. Makassar. Universitas Hasanuddin

[16] Widharma, Gede Suputra, dkk. 2020. *DCS on PLTS. Bandung*. Politeknik Negeri Bali

[17] Swastika, B., Suyanto, M., & Kristiyana, S. (2015). *Pembangkit Listrik Tenaga Matahari Sebagai penerangan Rumah Terpencil Dengan Menggunakan Solar Cell*. Jurnal Elektrikal, 2(1), 36.

[18] Marniati, Y. (2018). *Alat Pengendali Solar Tracking Berbasis Ardiono Uno R3*. Jurnal Teknik Elektro, 7(2), 115–120.

[19] Rudiyanto, B., Rachmanita, R. E., & Budiprasojo, A. (2023). *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*.

[20] Naibaho, N. (2018). *Pengiriman Daya Yang Ekonomis Dengan Memanfaatkan Energi Listrik Tenaga Surya Solar Home System*. Prosiding Semnastek.

[21] Idris, M. R. R. (2021). *Kombinasi Lampu Botol Surya Dan Led Berbasis Solar Cell Sebagai Penerangan. Combination*

Of Solar Bottle Lights With Solar Cell-Based Leds As Lighting. Universitas Hasanuddin.

[22] Pratomo, A. D. (2022). *Optimalisasi Daya Menggunakan Reflektor Dalam Rancang Bangun Panel Surya Monocrystalline 100wp*. ITN Malang.

[23] Haryanti, M., Yulianti, B., & Sadikin, J. (2021). P*embangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Solar Cell 50 Watt*. Jurnal Teknik Industri, 4(2).

[24] Masykur, M., & Hidayat, T. M. (2020). *Catu Daya Alternatif Menggunakan Solar Cell*. Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Teknik Elektro Telekomunikasi Indonesia, 8(2).

[25] Nugroho, Arif. 2020. *Perancangan Pembangkit Listrik Building Integrated Photovoltaiv (BIPV) On- Grid System. Pekanbaru*. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

[26] Sukmajati, Sigit. (2015). *Perancangan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw On Grid di Yogyakarta*. Jurnal Energi & Kelistrikan, Vol. 7 (1), 56.

[27] Rezky Ramadhana, R., Iqbal, M. M., Hafid, A., & Teknik Elektro, J. (2022). *Analisis Plts On Grid*. *Analisis Plts On Grid*, 14(1), 1–16.

[28] Setiawan, I. A., Kumara, I. S., & Sukerayasa, I. W. (2014). *Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubihi, Bangli*. Teknologi Elektro, 13(1)

[29] Saodah, S., & Amalia, R. (2013). *Perancangan Pembangkit Hybrid Angin-Surya di Desa Parangtritis Yogyakarta*. Jurnal Teknik Energi, 3(2), 243-249.

[30] TS Ong dan CH. Thum. (2013). *Net Present Value and Payback Period for Building Integrated Photovoltaic Projects in Malaysia*," International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.