

**PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *PHOTOVOLTAIC*
DENGAN SISTEM *OFF-GRID* PADA ATAP JALUR PEDESTRIAN LAPANGAN
BINTANG UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

***THE PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANT WITH OFF-GRID SYSTEM PLANNING
FOR LAPANGAN BINTANG UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
PEDESTRIAN ROOF***

Alit Nurindra

Department of Electrical Engineering, University of Muhammadiyah Yogyakarta
Integrated Campus of UMY, Brawijaya Street (West Ring-road), Tamantirto, Kasihan, Bantul
Yogyakarta 55183

E-mail: alit.nurindraa@gmail.com

INTISARI

Perencanaan PLTS *Photovoltaic* dengan sistem *Off-Grid* ini tidak memperhitungkan jumlah beban yang akan disuplai tenaga listriknya oleh PLTS, melainkan hanya memperhitungkan seberapa luas area yang akan digunakan untuk penempatan Panel-Panel *Photovoltaic* dan komponen PLTS lainnya. Perencanaan PLTS *Photovoltaic* dengan sistem *Off-Grid* ini diawali dengan mengidentifikasi luas areal maupun bentuk dan pola atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Kemudian dibuatlah perencanaan jumlah komponen serta peletakan panel *Photovoltaic* pada atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Selanjutnya yaitu memperhitungkan kebutuhan biaya investasi awal perencanaan PLTS *Photovoltaic* dengan sistem *Off-Grid*. Luas wilayah yang digunakan sebagai tempat peletakan panel *Photovoltaic* adalah 729.944m². Sedangkan total luas area yang tercakup Panel *Photovoltaic* adalah sebesar 198,963m². Jumlah Panel *Photovoltaic* yang digunakan adalah sebesar 232 Buah dengan kapasitas masing masing panel 120 WP. Dengan tegangan sistem 48VDC jumlah Baterai 12V 265Ah sebanyak 200 buah, *Solar Charge Controller* 100A sebanyak 7 buah dan Inverter 3 buah dengan kapasitas 8.000W. PLTS *Photovoltaic* dengan sistem *Off-Grid* ini dapat menghasilkan daya potensial sebesar 54.190,82 kWh/tahun. Total Investasi awal yang dibutuhkan dalam perencanaan PLTS dengan sistem *Off-Grid* ini yaitu sebesar Rp.1.405.760.000. Biaya Pemeliharaan dan Operasional sebesar Rp.44.400.000 / Tahun serta Biaya Siklus Hidup selama 25 tahun sebesar Rp.1.973.345.624.

Kata Kunci: PLTS, *Photovoltaic* dan *Off-Grid*.

1. PENDAHULUAN

Dari berbagai macam energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan yang dikembangkan saat ini, salah satunya adalah Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS. Setidaknya terdapat dua jenis teknologi PLTS yang berkembang sampai saat ini: PLTS

berbasis Helioelectric atau yang lebih dikenal dengan Solar Cell seperti *Photovoltaic* dan PLTS berbasis Heliothermal seperti Concentrated Solar Power. PLTS *Photovoltaic* memanfaatkan bahan semikonduktor untuk mengubah energi yang dipancarkan oleh sinar matahari menjadi energi listrik. Sedangkan PLTS Concentrated Solar

Power menghasilkan energi listrik memanfaatkan energi radiasi panas matahari yang difokuskan menuju tungku pemanas.

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sebagai salah satu institusi pendidikan tinggi di Indonesia tentunya membutuhkan pasokan energi listrik yang cukup besar untuk keperluan proses pembelajaran maupun aktifitas pendukung lainnya. Ketersediaan pasokan energi listrik yang cukup menjadi prioritas yang paling utama agar proses pembelajaran di dalam kampus tidak terhambat. PLTS Photovoltaic menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Energi alternatif ini sangat cocok digunakan di kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta karena Universitas Muhammadiyah Yogyakarta memiliki banyak gedung tinggi dan areal lain yang terpapar oleh sinar matahari langsung. Selain itu energi alternatif ini juga dapat meringankan beban tagihan energi listrik, ramah lingkungan, dan menjadi contoh masyarakat maupun civitas akademika kampus tentang penerapan energi terbarukan, mengingat Universitas Muhammadiyah Yogyakarta mendapat penghargaan Green Campus pada tahun 2014 oleh Indonesian Green Award (IGA).

Salah satu areal yang cocok untuk pemasangan sistem PLTS Photovoltaic di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta adalah pada atap jalur pedestrian Lapangan Bintang. Letaknya yang strategis dimana sinar matahari dapat langsung menyinari tanpa ada penghalang dan dekat dengan salah satu ikon Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yakni Lapangan Bintang dan Masjid K.H. Ahmad Dahlan, menjadi salah satu alasan penyusun mengusulkan lokasi ini.

PLTS Photovoltaic nantinya akan dipasang dengan sistem Off-Grid dan nantinya dapat dimanfaatkan untuk melayani beban di sekitar area PLTS Photovoltaic. Penyusun mengusulkan agar PLTS Photovoltaic nantinya bisa terhubung dengan beban di Masjid K.H. Ahmad Dahlan dan atau gedung lain disekitarnya seperti AR. Fachrudin A dan AR. Fachrudin B.

2. DASAR TEORI

2.1 PLTS *Photovoltaic*

Dalam perkembangannya hingga saat ini PLTS dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama yakni PLTS berbasis *Heliotermal* dan PLTS berbasis *Helioelectric*. PLTS *Heliotermal* adalah PLTS yang memanfaatkan energi kalor atau panas yang dipancarkan oleh matahari untuk kemudian difokuskan dan memanaskan fluida/zat cair hingga mendidih dan memiliki tekanan. Tekanan akibat pemanasan zat cair inilah yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator untuk membangkitkan energi listrik. Sedangkan PLTS *Helioelectric* adalah PLTS yang memanfaatkan suatu energi elektromagnetik foton matahari untuk menghasilkan energi listrik melalui bahan semikonduktor. Umumnya bahan semikonduktor ini disebut juga dengan sel surya atau *Photovoltaic*. Sel Surya adalah suatu lapisan semikonduktor yang jika terpapar sinar matahari dimana terdapat energi elektromagnetik foton, maka kondisi elektron pada semikonduktor tersebut dapat berpindah dan menghasilkan energi listrik.

2.2 Komponen-Komponen PLTS

Photovoltaic Sistem Off-Grid

PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* merupakan PLTS dengan skema sistem kelistrikkannya tidak terhubung dengan jaringan listrik utama, dalam hal ini adalah jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Adapun komponen dan unsur penyusun sistem PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* adalah sebagai berikut.

2.2.1 Panel *Photovoltaic* (Panel Surya)

Panel *Photovoltaic* adalah kumpulan dari beberapa sel *Photovoltaic* yang dirangkai dan disusun secara seri maupun paralel untuk mencapai kapasitas yang diinginkan. Dalam PLTS *Photovoltaic*, Panel *Photovoltaic* disusun secara seri (*string*) dan paralel (*Array*) sesuai dengan sistem yang di kehendaki oleh PLTS *Photovoltaic*. Untuk mengukur potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh Panel *Photovoltaic* pada PLTS *Photovoltaic* adalah sebagai berikut.

$$E_L = PV \text{ Area} \times G_{av} \times TCF \times \mu_{PV}$$

E_L = Potensi Energi Listrik (kWh)
 $PV \text{ Area}$ = Tot. Luas Permukaan Panel (m²)
 G_{av} = Intensitas matahari harian (kWh/m²/hari)
 TCF = *Temp. Coeff. Factor* (%)
 μ_{PV} = Efisiensi Panel Surya (%)

2.2.2 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller atau SCC digunakan sebagai regulator atau pengatur arus listrik yang maupun tegangan yang dihasilkan oleh Panel *Photovoltaic*. Setelah kedua parameter ini telah diatur, kemudian bisa dengan aman masuk atau mengalir menuju komponen lainnya seperti baterai untuk disimpan. Berikut adalah

rumus untuk menghitung rating arus minimum inputan SCC.

$$I_{sc} > I_{sc} \text{ Panel} \times N \text{ Panel Paralel} \times 125\%$$

I_{sc} = Arus SCC.
 $I_{sc} \text{ panel}$ = Arus pada panel surya.
 $N \text{ panel paralel}$ = Jumlah kelompok panel yang diparalel.
125% = Kompensasi.

Sedangkan untuk menghitung kebutuhan SCC yang akan digunakan, rumusnya adalah sebagai berikut.

$$N_{SCC} = I_{SCC} / \text{Arus SCC}$$

N_{SCC} = Jumlah SCC yang digunakan.
 I_{SCC} = Arus SCC.
Arus SCC = Max. Capacity Arus SCC yang digunakan.

2.2.3 Baterai

Baterai digunakan sebagai sarana penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel *Photovoltaic*. Ada 4 tahap dalam menentukan jumlah baterai dan kapasitas baterai.

Tahap 1

Tentukan *Depth of Discharge* (DoD) untuk sistem baterai. DoD adalah banyaknya kapasitas baterai yang digunakan sampai baterai diisi kembali. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Total Daya Panel } \textit{Photovoltaic} / \text{DoD}$$

Tahap 2

Tentukan lamanya *Days of Autonomy*. Adalah kemampuan sistem PLTS *Photovoltaic* untuk tetap bekerja melayani beban listrik tanpa penyinaran sinar matahari. Umumnya *Days of Autonomy* pada PLTS *Photovoltaic* adalah 2-3 hari. Maka rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Tot. Daya Panel } \textit{Photovoltaic} (\text{Setelah DoD}) \times \text{Hari}$$

Tahap 3

Pada tahap ini kita dapat menentukan jumlah baterai yang akan digunakan. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Tot. Daya Panel}^{**}) \times \text{Teg. Baterai} \times \text{Kap. Baterai}$$

** = Setelah melewati tahapan 1 dan 2.

Tahap 4

Pada tahap ini kita harus sudah menentukan sistem baterai yang akan digunakan pada PLTS *Photovoltaic*. Tegangannya, konfigurasi (Paralel atau Seri) dan sebagainya.

$$B_{\text{Paralel}} = N \text{ Baterai} / B \text{ Seri}$$

B_{Paralel} = Jumlah pasangan baterai yang dirangkai paralel.

$N \text{ Baterai}$ = Jumlah kebutuhan baterai.

$B \text{ Seri}$ = Jumlah baterai yang dirangkai seri untuk mencapai tegangan sistem yang disyaratkan.

Setelah itu kita dapat menentukan kapasitas total baterai yang akan digunakan pada PLTS *Photovoltaic*.

$$\text{Tot. Kapasitas Baterai} = B_{\text{Paralel}} \times \text{Kapasitas Baterai}$$

2.2.4 Inverter

Dalam suatu sistem PLTS *Photovoltaic* diperlukan komponen Inverter untuk menyediakan energi listrik dengan arus AC yang dibutuhkan oleh beban-beban peralatan listrik yang notabene memiliki karakteristik input arus listrik AC.

$$\text{Jumlah Inverter} = \frac{(N \text{ Panel } \textit{Photovoltaic} \times P_{\text{max}} \textit{Photovoltaic})}{\text{Kapasitas Inverter}}$$

$N \text{ Panel } \textit{Photovoltaic}$ = Jumlah Panel *Photovoltaic*

P_{max} = Daya Maksimum Panel *Photovoltaic*

Kapasitas Inverter = Kapasitas Daya Produk Inverter yang akan digunakan.

Selain itu, dalam penentuan Inverter yang akan digunakan haruslah memenuhi kaidah kaidah sebagai berikut.

- Kapasitas Daya AC Kontinyu Inverter @ 25°C *) \geq Daya beban rata-rata
- Kapasitas Daya AC @ 25°C selama 30 menit *) \geq Beban Puncak selama 30 menit
- Kapasitas Daya Kontinyu @ 25°C Inverter *) \leq Kapasitas Total Panel *Photovoltaic*

2.3 Aspek Biaya Perencanaan PLTS

Photovoltaic

2.3.1 Biaya Siklus Hidup

Biaya Siklus Hidup atau *Life Cycle Cost* (LCC) merupakan biaya keseluruhan suatu sistem atau program selama jangka waktu kehidupannya. Untuk perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$LCC = C + M_{\text{PW}}$$

Keterangan:

LCC = *Life Cycle Cost* atau Biaya Siklus Hidup.

C = Biaya Investasi Awal.

M_{PW} = *Present Worth of Maintenance and Operation*. Adalah biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional dalam periode waktu proyek (umur proyek).

2.3.2 Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal suatu proyek erat kaitannya dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk memenuhi unsur-unsur pokok dalam proyek tersebut. Dalam hal perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Photovoltaic* sistem *Off-Grid*, maka biaya investasi awal yang dikeluarkan dapat dihitung berdasarkan seberapa banyak biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan komponen utama PLTS *Photovoltaic*.

2.3.3 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS *Photovoltaic* adalah keseluruhan biaya yang

mencakup biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan, instalasi, komponen sipil, serta biaya operasional untuk keberlangsungan jalannya PLTS *Photovoltaic*.

2.3.4 Nilai Biaya Sekarang Pemeliharaan dan Operasional

Nilai Biaya Sekarang atau Present Worth adalah nilai biaya yang nantinya akan dikeluarkan pada beberapa tahun ke depan semenjak suatu proyek dimulai atau berjalan dan sepanjang umur maupun periode proyek tersebut. Oleh sebab itu, Nilai biaya sekarang erat kaitannya dengan nilai biaya pemeliharaan dan operasional suatu proyek. Nilai biaya sekarang sering juga disebut dengan Present Worth of Maintenance and Operation atau Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$M_{PW} = M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Keterangan:

M_{PW} = Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional.

M = Biaya Pemeliharaan dan Operasional

i = Nilai Suku Bunga Kredit (%)

n = Nilai Periode/Waktu (Tahun ke)

2.4 Analisa Keyakan Investasi PLTS

Photovoltaic

2.4.1 Cash Flow

Cash Flow adalah aliran atau arus kas yang dihasilkan oleh PLTS *Photovoltaic*. Besaran arus kas ini didapatkan dari harga jual energi listrik yang potensial diproduksi oleh suatu PLTS *Photovoltaic* dalam jangka waktu 1 tahun. Nilai arus kas di atas bisa didasarkan pada harga jual energi listrik PLN kepada pelanggan atau kita menyebutnya dengan Tarif Dasar Listrik (TDL).

$$\text{Arus Kas per Tahun} = \text{Potensi Energi Listrik PLTS (kWh)} \times \text{TDL,-}$$

Adapun nilai arus kas per tahunnya dapat dihitung dengan rumus.

$$\text{Nilai Arus Kas} = \frac{\text{Nilai Arus Kas Kotor (CF)}}{(1+i)^n}$$

Keterangan:

I = Suku Bunga Bank. (%)

N = Nilai periode/waktu arus kas (Tahun ke).

2.4.2 Net Present Value

Net Present Value atau NPV digunakan untuk menganalisis keuntungan dari investasi 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. 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. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - C$$

Keterangan:

NPV = Net Present Value

CF = Cash Flow

n = Umur Proyek (Tahun)

t = Nilai periode/waktu arus kas (Tahun ke).

2.4.3 Payback Periode

Payback Periode adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$PP = \text{Waktu Operasi PLTS} - \frac{C}{NPV}$$

Keterangan:

PP = *Payback Periode* (Tahun).

C = Nilai Biaya Investasi Awal.
NPV = *Net Present Value*.

2.4.4 Internal Rate of Return

Internal Rate of Return adalah tingkat pengembalian dari nilai investasi awal berupa tingkat nilai suku bunga saat NPV = 0. Satuannya adalah persen per tahun. Rumusnya secara praktis adalah sebagai berikut.

$$IRR = Ir + \frac{NPV Ir}{NPV Ir - NPV It} X (It - Ir)$$

Keterangan:

IRR = Internal Rate of Return

Ir = Suku Bunga Rendah

It = Suku Bunga Tinggi

NPV *Ir* = NPV Pada Bunga Rendah / NPV Positif

NPV *It* = NPV Pada Bunga Tinggi / NPV Negatif

2.4.5 Return of Investment

Return of Investment adalah laba atau keuntungan dalam investasi. Return of Investment biasanya diukur dalam bentuk rasio persentase keuntungan dengan total investasi. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$ROI = \frac{\text{Total Laba} - \text{Total Investasi Awal}}{\text{Total Investasi Awal}} \times 100\%$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan kajian literatur tentang komponen maupun perangkat dari PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid*. Kemudian hasil dari kajian literatur ini akan didapatkan data-data yang diperlukan dalam penelitian. Data-data tersebut nantinya akan diolah kembali

sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan pemecahan rumusan masalah. Selanjutnya dilakukan analisis untuk kemudian dihasilkan sejumlah kesimpulan dan saran yang menjadi tujuan akhir penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

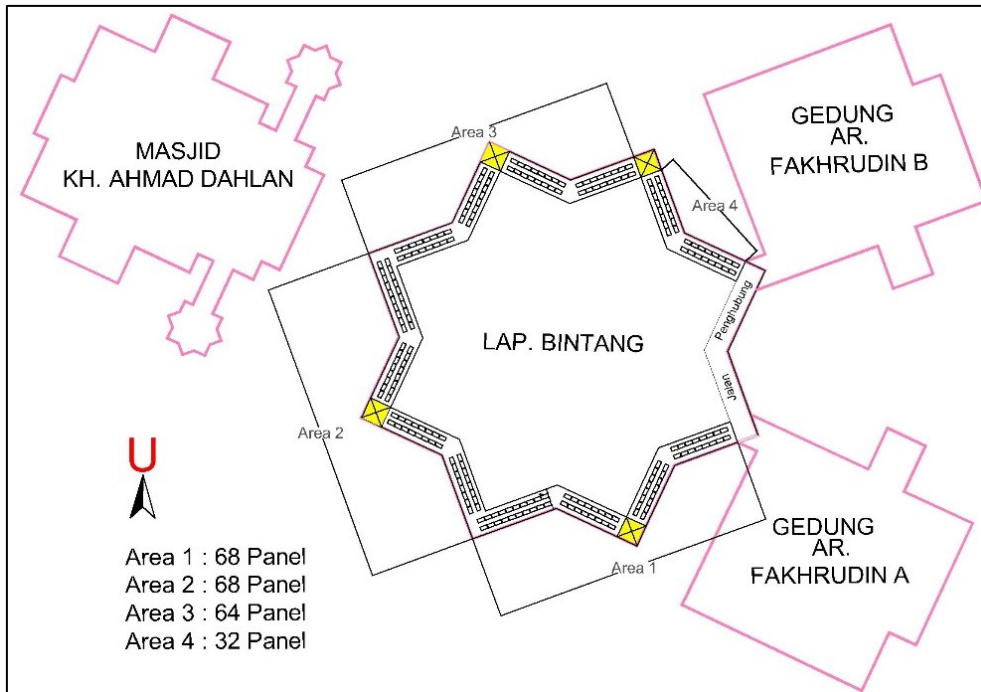
4.1 Perencanaan PLTS *Photovoltaic* Sistem *Off-Grid*

4.1.1 Perhitungan dan Perencanaan

Panel *Photovoltaic*

Berdasarkan obeservasi awal luas area pemasangan panel *Photovoltaic*, setidaknya terdapat 729,944m² luas area yang dapat dipasang panel *Photovoltaic*. Luasan tersebut dibagi kembali menjadi 4 area yang dipisahkan oleh arsitektur bangunan jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah. Dari total luasan tersebut akan dipasang panel *Photovoltaic* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Type Cell	: <i>Polycrystalline</i>
Dimensi	: 1280x670x35mm
Berat	: 11 Kg
Max Power	: 120 W
Open Circuit Volt (Voc)	: 22 V
Short Circuit Volt (Isc)	: 7,12 A
Max Power Volt (Vmp)	: 18,2 V
Max Power Current (Imp)	: 6,60 A
Solar Cell Efficiency (%)	: 16,2
Temp.Coeff.of Voc (%/K)	: -0.343
Temp.Coeff.of Isc (%/K)	: 0.075
Temp.Coeff.of Pmax(%/K)	: -0.44
Op. Temperature (°C)	: -40 to 85
Nom.Oper. Cell Temp.(°C)	: 47±2
STC (AM=1,525°C)	: 1000W/m ²



Gambar 1. Layout Pemasangan Panel *Photovoltaic* sistem *Off-Grid*.



Gambar 2. Layout Posisi Panel *Photovoltaic* dengan antar panel dan batas atap.

Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel *Photovoltaic*, terlebih dahulu kita harus mengetahui nilai intensitas matahari harian dan suhu maksimum saat siang hari di lokasi perencanaan PLTS *Photovoltaic*. Didapat sebesar 4,72kWh/m²/hari untuk intensitas matahari harian serta 30,48°C untuk suhu maksimum saat siang hari di lokasi perencanaan PLTS *Photovoltaic* (Sumber data: NASA). Efisiensi panel Photovoltaic 16%, Temperature Coefficient of Pmax sebesar -0,44% per derajat kenaikan temperature diatas STC (25° C), dan luas permukaan panel Photovoltaic total (232 Panel) adalah 198,963m².

Maka untuk perhitungan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel *Photovoltaic* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 E_{Listrik} &= PV \text{ Area} \times G_{AV} \times TCF \times \eta_{PV} \\
 &= 198,963\text{m}^2 \times 4,72 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \times \\
 &\quad (100 - (0,44 \times 5,48))\% \times 16,2\% \\
 &= 198,963\text{m}^2 \times 4,72 \text{ kWh/m}^2/\text{hari} \times \\
 &\quad (100 - 2,41)\% \times 16,2\% \\
 &= 939,105 \text{ kWh/hari} \times 97,59\% \times 16,2\% \\
 &= 148,468 \text{ kWh/hari} \\
 &= 54.190,82 \text{ kWh/tahun (365 hari)}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan dan Perencanaan

Solar Charge Controller

Perlu diketahui bahwasannya pada Area 1 dan 2 terdapat 68 panel Photovoltaic. Pada area 3 terdapat 64 Panel Photovoltaic. Sedangkan pada Area 4 terdapat 32 panel Photovoltaic. Maka perhitungan SCC akan dibagi menjadi 3

kelompok, yakni kelompok A (area 1 dan 2) kelompok B (Area 3), serta kelompok C (Area 4).

Rumus dasar:

$$I_{sc} > I_{sc} \text{ Panel} \times n_{\text{Panel Paralel}} \times 125\%$$

$$N_{sc} = I_{sc} / \text{Arus SCC yang akan digunakan.}$$

Keterangan:

$$I_{sc} = \text{Arus SCC.}$$

$$I_{sc} \text{ Panel} = \text{Arus Panel Surya.}$$

$$n_{\text{Panel Paralel}} = \text{Jumlah kelompok Panel Photovoltaic yang diparalelkan.}$$

$$125\% = \text{Kompensasi.}$$

$$N_{sc} = \text{Jumlah SCC yang dibutuhkan.}$$

Contoh perhitungan Area 1 dan 2.

$$I_{sc} > I_{sc} \text{ Panel} \times n_{\text{Panel Paralel}} \times 125\%$$

$$> 7,12 \text{ A} \times 17 \times 125\%$$

$$> 151,3 \text{ Ampere}$$

N_{sc}

$$= I_{sc} / \text{Arus SCC yang akan digunakan.}$$

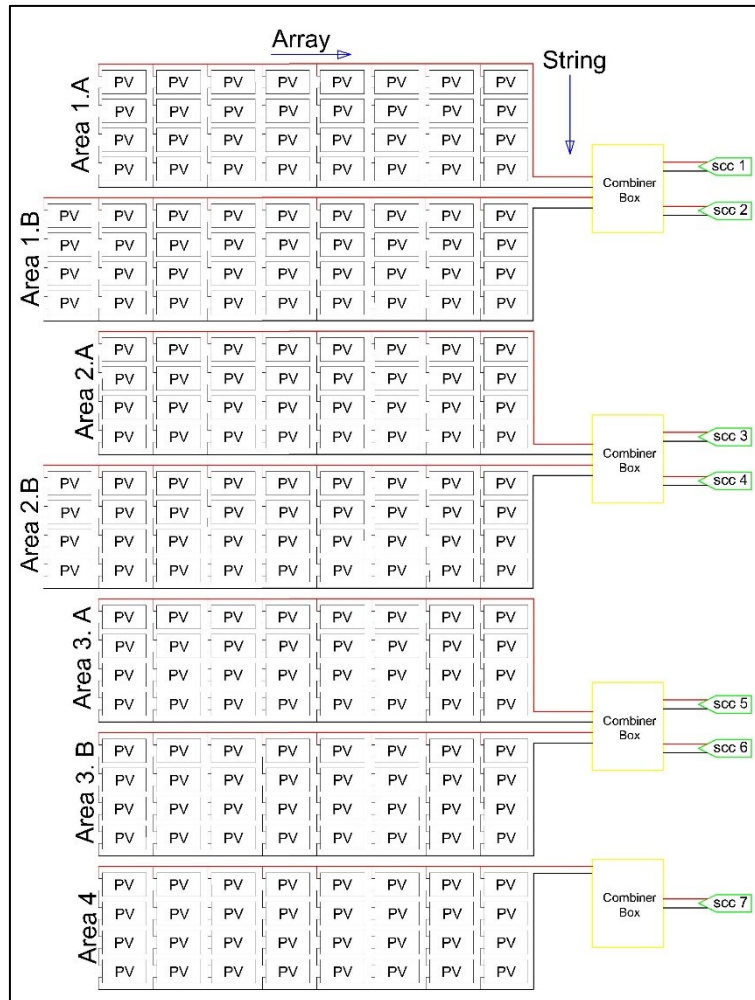
$$= 151,3 \text{ A} / 100 \text{ A}$$

$$= 1,51 \text{ Buah SCC.}$$

Namun untuk memenuhi prasyarat bahwa I_{sc} harus lebih besar dari rumus perhitungan, maka nilai 1,51 ini dibulatkan ke atas menjadi 2 buah.

$$= 2 \text{ Buah SCC @ } 100 \text{ A}$$

Jadi untuk area 1 dan 2 dibutuhkan masing masing 2 buah SCC dengan kapasitas 100 Ampere.



Gambar 3. Diagram Segaris *Panel Photovoltaic* dengan SCC

4.1.3 Perhitungan dan Perencanaan

Baterai

Berikut adalah perhitungan untuk baterai yang akan digunakan untuk PLTS *Photovoltaic*

Spesifikasi baterai:

- Volt Baterai = 12V
- Kap. Baterai = 265Ah
- DoD = 70%
- Days of Autonomy= 3 Hari
- Potensi Daya PLTS= 148.468 Wh
- Tegangan Sistem = 48V

Rumus:

$$\begin{aligned}
 &\text{Kapasitas Daya Panel untuk DoD 70\%} \\
 &= \text{Total Daya dihasilkan Panel Surya /DoD} \\
 &= 148.468 \text{ Wh} / 70\% \\
 &= 212.097 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Kapasitas Daya Panel setelah DoD ditambah} \\
 &\text{optimalisasi 3 hari tanpa penyinaran matahari.} \\
 &= \text{Total Kapasitas Daya Panel setelah DoD x 3} \\
 &\text{Hari tanpa matahari} \\
 &= 212.097 \text{ Wh x 3} \\
 &= 636.291 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Baterai Panel Surya.

$$= 636.291 \text{ Wh} / 12\text{V} / 265\text{Ah}$$

$$= 200,092 \text{ (dibulatkan dengan faktor 4)}$$

$$= 200 \text{ Baterai dengan kapasitas } 265\text{Ah}$$

Tegangan keluaran dari SCC menuju baterai adalah 48V. Maka dibutuhkan baterai dengan level tegangan yang sama. Oleh sebab itu baterai 12V dirangkai seri sebanyak 4 buah agar mendapatkan tegangan 48V dan selanjutnya diparalel dengan yang lainnya. Perhitungan kapasitas baterai adalah sebagai berikut.

Bparalel

$$= \text{kebutuhan Baterai} / n \text{ baterai yang diseri}$$

$$= 200 / 4$$

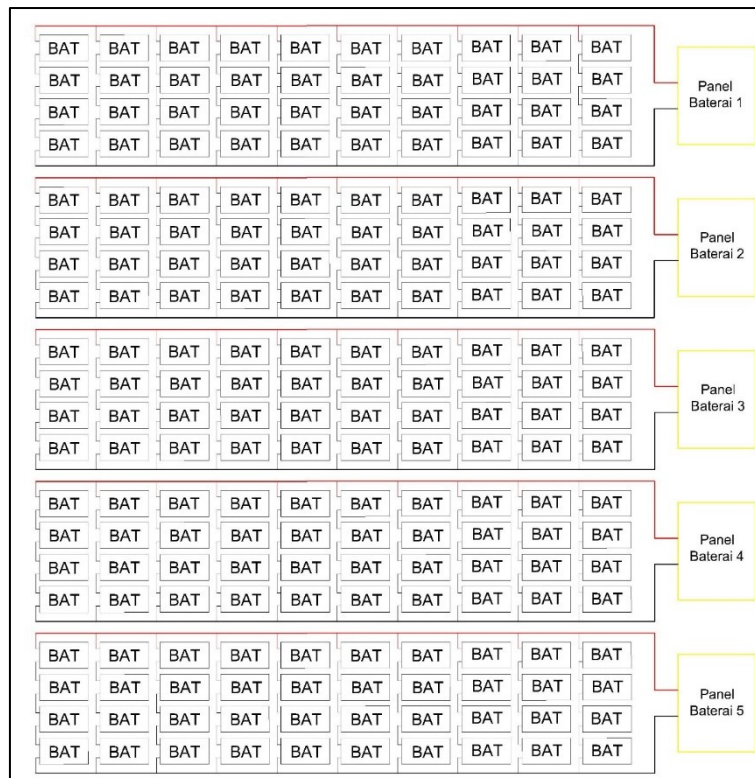
$$= 50 \text{ kel. Baterai yang diparalel}$$

Total kapasitas baterai

$$= B_{\text{paralel}} \times \text{Kapasitas Baterai}$$

$$= 50 \times 265\text{Ah}$$

$$= 13.250\text{Ah}$$



Gambar 4. Diagram Segaris *Bank Battery*.

4.1.4 Perhitungan dan Perencanaan

Inverter

Inverter yang dipilih untuk perancangan PLTS Photovoltaic ini adalah inverter baterai dengan sistem 1 fasa dengan tegangan sistem input DC adalah 48 Volt serta tegangan keluaran yakni 220 Volt.

Kapasitas Total Panel Photovoltaic

$$= \text{Jumlah Panel Photovoltaic} \times \text{Kapasitas Daya}$$

Panel Photovoltaic (Wp).

$$= 232 \times 120\text{Wp}$$

$$= 27.840 \text{ Wp}$$

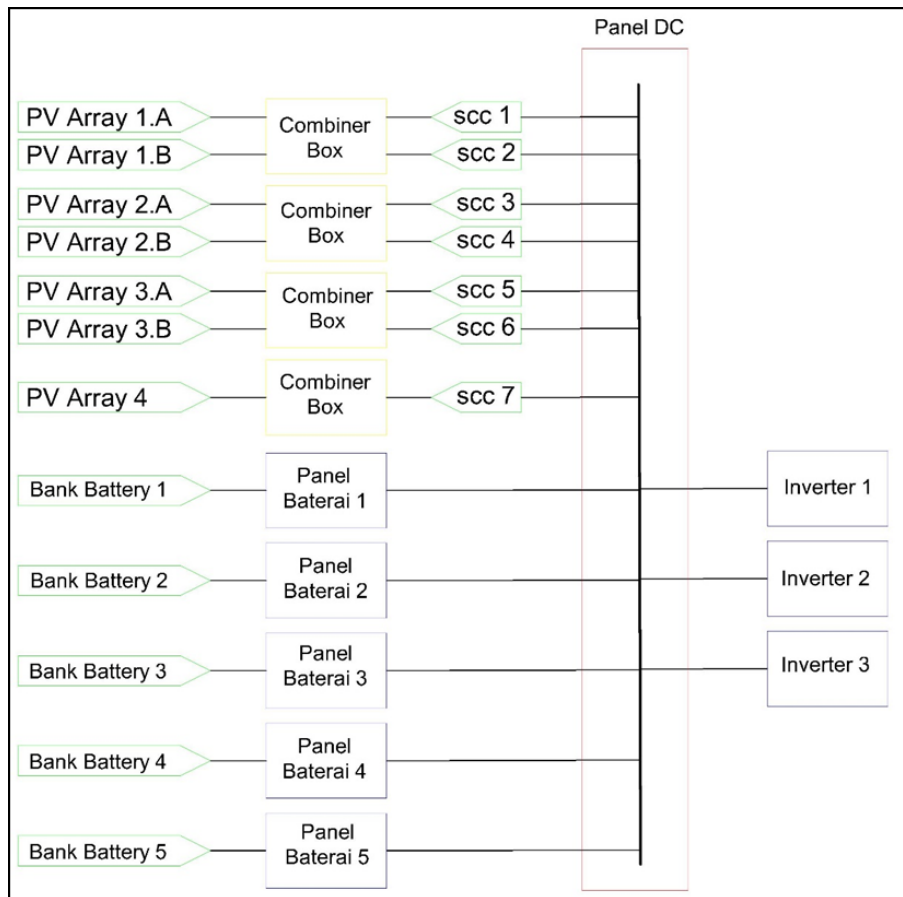
Kapasitas Total Inverter
 = Kapasitas Total Panel Photovoltaic / Kapasitas Inverter
 = 27.840 / 8000 W
 = 3,48 Buah Inverter

di bulatkan ke bawah. Yakni menjadi 3 buah Inverter.

Kapasitas Total Inverter
 = 3 x 8.000 W
 = 24.000 W

Dengan memperhatikan parameter-parameter untuk menentukan kapasitas total inverter, maka dapat ditentukan bahwasannya nilai kapasitas total inverter adalah kurang dari atau sama dengan nilai kapasitas total panel Photovoltaic. Oleh sebab itu, 3,48 Buah Inverter yang di dapat dari perhitungan di atas sebaiknya

Dalam perancangan PLTS Photovoltaic ini tidak diperhitungkan jumlah beban yang akan terpasang, oleh sebab itu total beban yang terpasang pada inverter nantinya tidak akan mempengaruhi jumlah inverter pada perencanaan ini.



Gambar 5. Diagram Segaris PLTS *Photovoltaic*.

4.2 Aspek Biaya Perencanaan PLTS Photovoltaic

4.2.1 Biaya Investasi Awal dan Biaya Pemeliharaan serta Operasional PLTS Photovoltaic

Disamping ini merupakan data-data komponen utama PLTS dengan desain yang telah dibuat beserta harga yang dibutuhkan dalam perencanaan PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid*. Data tersebut didapat berdasarkan harga di pasaran. Selain itu biaya pemeliharaan dan operasional pada perancangan PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* ini ditetapkan dengan perkiraan kebutuhan biaya gaji dan honor operator, biaya sparepart, dan asumsi biaya tak terduga.

No.	Nama Barang	Qty	Satuan	Harga	Total
1	Panel Photovoltaic German Solar GSAP6-120 Wp	232	Pcs	Rp1.740.000	Rp403.680.000
2	Solar Charge Controller (SCC) Tracer10415AN 100A/150V	7	Pcs	Rp4.619.120	Rp32.333.840
3	Inverter YIS Pure Sine Wave 8000W	3	Pcs	Rp13.466.400	Rp40.399.200
4	Baterai Vitron Energy 12V Deep Cycle Gel 265Ah	200	Pcs	Rp3.275.800	Rp655.160.000
5	Combiner Box	7	Pcs	Rp3.960.000	Rp27.720.000
6	Panel DC Utama	1	Pcs	Rp10.500.000	Rp10.500.000
7	Panel Distribusi AC	1	Pcs	Rp10.500.000	Rp10.500.000
8	Kabel String Panel Photovoltaic	2000	meter	Rp10.000	Rp20.000.000
9	Kabel Baterai NYAF 2(1 x 70mm ²)	200	meter	Rp106.000	Rp21.200.000
10	Kabel NYAF 2(1 x 35mm ²)	1000	meter	Rp52.000	Rp52.000.000
11	MCCB 125 A (Input Baterai)	7	Pcs	Rp240.000	Rp1.680.000
12	MCCB 125 A (Output SCC)	7	Pcs	Rp240.000	Rp1.680.000
13	MCCB 125 A (Input Inverter)	3	Pcs	Rp240.000	Rp720.000
14	MCCB 50 A (Output Inverter)	3	Pcs	Rp130.500	Rp391.500
Total					Rp1.277.964.540
PPN 10%					Rp127.796.454
Jumlah Total					Rp1.405.760.994
Pembulatan					Rp1.405.760.000

Tabel 1. Biaya Investasi Awal

No.	Uraian	Qty/Bulan	Harga	Jumlah Harga
1	Gaji dan Honor Operator	1	Rp1.700.000	Rp1.700.000
2	Sparepart dan Peralatan Maintenance	1	Rp1.500.000	Rp1.500.000
3	Biaya Tak Terduga	1	Rp500.000	Rp500.000
Total Biaya Selama 1 Bulan				Rp3.700.000
Total Biaya Selama 1 Tahun (12 Bulan)				Rp44.400.000

Tabel 2. Biaya Pemeliharaan dan Operasional.

4.2.2 Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional

Perancangan PLTS Photovoltaic sistem Off-Grid pada atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta ini diasumsikan beroperasi selama 25 tahun. Asumsi PLTS dapat beroperasi selama 25 tahun adalah berdasarkan jaminan dan garansi yang diajukan oleh produsen Panel Photovoltaic. Sedangkan untuk nilai suku bunga bank saat ini adalah sebesar 6% per 25 April 2019. Maka besar nilai biaya sekarang untuk pemeliharaan dan operasional adalah sebagai berikut.

Diketahui:

Umur Proyek = 25 Tahun.

Tingkat suku bunga = 6% (25 April 2019)

Biaya pemeliharaan dan Operasional (M) = Rp. 44.400.000 / Tahun

Rumus:

$$\begin{aligned}
 MPW &= M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\
 &= \text{Rp. } 44.400.000 \left[\frac{(1+0,06)^{25} - 1}{0,06(1+0,06)^{25}} \right] \\
 &= \text{Rp. } 44.400.000 \left[\frac{3,29187}{0,25751} \right] \\
 &= \text{Rp. } 44.400.000 \times 12,78346 \\
 &= \text{Rp. } 567.585.624
 \end{aligned}$$

4.2.3 Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

Adapun untuk biaya Siklus Hidup atau *Life Cycle Cost*, maka perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$LCC = C + MPW$$

C = Biaya Investasi Awal

$$= \text{Rp. } 1.405.760.000 + \text{Rp. } 567.585.624$$

$$= \text{Rp. } 1.973.345.624$$

4.3 Analisa Keyakan Investasi PLTS Photovoltaic

4.3.1 Cash Flow

Adapun besaran *Arus Kas* dari PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* pada atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas

Muhammadiyah Yogyakarta bisa dihitung sebagai berikut.

$$\text{Besaran Arus Kas} = \text{Potensi Energi Listrik PLTS (kWh)} \times \text{TDL}$$

$$\begin{aligned} &= 54.190,82 \text{ kWh/tahun} \times \text{TDL} \\ &= 54.190,82 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp. } 1.457 / \text{kWh} \\ &= \text{Rp. } 78.956.024,7 \text{ Per Tahun.} \end{aligned}$$

Adapun Nilai *Cash Flow* atau Nilai Arus Kas per tahunnya (Dengan tingkat suku bunga 6% dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Nilai Arus Kas per Tahun} = \frac{\text{Nilai Arus Kas}}{(1+i)^n}$$

Contoh perhitungan untuk tahun pertama.

$$\begin{aligned} \text{Tahun ke 1} &= \frac{\text{Rp. } 78.956.024,7}{(1+0,06)^1} \\ &= \text{Rp. } 74.486.815,8 \end{aligned}$$

4.3.2 Net Present Value

Net Present Value adalah cara untuk menyatakan bahwa seluruh aliran Kas Bersih dinilai sekarang atas dasar faktor suku bunga bank. Untuk menghitung *Net Present Value* rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - C \\ &= \text{Rp. } 1.009.322.988,4 - \\ &\quad \text{Rp. } 1.405.760.000 \\ &= - \text{Rp. } 369.437.012 \end{aligned}$$

4.3.3 Payback Periode

Perhitungan *Payback Periode* digunakan untuk mengukur seberapa lama biaya yang sudah dikeluarkan untuk investasi suatu proyek, dapat kembali utuh. Adapun untuk mengukur *Payback Periode* PLTS *Photovoltaic* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{PP} &= \text{Waktu Operasi PLTS} - \frac{C}{\text{NPV}} \\ &= 25 \text{ Tahun} - \frac{\text{Rp. } 1.405.760.000}{- \text{Rp. } 369.437.012} \\ &= 25 \text{ Tahun} - (-3,805) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 25 \text{ Tahun} + 3,805 \text{ Tahun} \\ &= 28 \text{ Tahun } 9,5 \text{ Bulan.} \end{aligned}$$

4.3.4 Internal Rate of Return

Pada perhitungan NPV dengan tingkat suku bunga di atas yakni 6% memberikan nilai NPV negatif. Maka NPV tersebut adalah NPV dengan suku bunga tinggi. Selanjutnya adalah menghitung NPV yang bernilai positif dengan menurunkan asumsi nilai tingkat suku bunga. Dalam hal ini menjadi 2%. Maka NPV dengan tingkat suku bunga 2% adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - C \\ &= \text{Rp. } 1.541.494.521 - \text{Rp. } 1.405.760.000. \\ &= \text{Rp. } 135.734.521 \end{aligned}$$

Maka nilai IRR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{IRR} &= Ir + \frac{\text{NPV } Ir}{\text{NPV } Ir - \text{NPV } It} \times (It - Ir) \\ &= 2\% + \frac{\text{Rp. } 135.734.521}{\text{Rp. } 135.734.521 - (-\text{Rp. } 369.437.012)} \times (6\% - 2\%) \\ &= 2\% + \frac{\text{Rp. } 135.734.521}{\text{Rp. } 505.171.533} \times 4\% \\ &= 2\% + 0,2687 \times 4\% \\ &= 2\% + 0,01075 \\ &= 3,075\% \end{aligned}$$

4.3.5 Return of Investment

Nilai *Return of Investment* dalam hal ini adalah sangat relatif. Jika menganggap arus kas adalah tetap setiap tahun tanpa memikirkan tingkat suku bunga, maka:

$$\begin{aligned} \text{ROI} &= \frac{\text{Tot. Arus Kas } 25 \text{ tahun} - C}{C} \times 100\% \\ \text{ROI} &= \frac{\text{Rp. } 568.140.617,5}{\text{Rp. } 1.405.760.000} \times 100\% \\ \text{ROI} &= 40,41\% \end{aligned}$$

Jika menilai sekarang arus kas saat ini dengan tingkat angka suku bunga adalah 6%, maka:

$$\text{ROI} = \frac{\text{NPV } 6\% - \text{Total Investasi Awal}}{\text{Total Investasi Awal}} \times 100\%$$

$$\text{ROI} = \frac{-\text{Rp.}369.437.012}{\text{Rp.}1.405.760.000} \times 100\%$$

$$\text{ROI} = -26,28\%$$

Jika menilai sekarangkan arus kas saat ini dengan tingkat angka suku bunga adalah 2%, maka:

$$\text{ROI} = \frac{\text{NPV } 2\% - \text{Total Investasi Awal}}{\text{Total Investasi Awal}} \times 100\%$$

$$\text{ROI} = \frac{\text{Rp.}135.734.521}{\text{Rp.}1.405.760.000} \times 100\%$$

$$\text{ROI} = 9,66\%$$

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Luas wilayah yang akan dipasang oleh panel *Photovoltaic* adalah sebesar 729.944m². Sementara cakupan total luas wilayah Panel *Photovoltaic* adalah sebesar 198,963m² dengan jumlah panel *Photovoltaic* ukuran kapasitas 120 WP sebanyak 232 buah. Komponen lainnya yakni *Solar Charge Controller* kapasitas 100 Ampere sebanyak 7 buah, Baterai kapasitas 265 Ah sebanyak 200 buah, serta inverter kapasitas 8000 W sebanyak 3 buah.
2. Berdasarkan hasil perhitungan, daya potensial energi listrik yang dapat dihasilkan menggunakan 232 panel *Photovoltaic* kapasitas 120 WP per harinya mencapai 148,468 kWh atau 54.190,82 kWh dalam setahun.
3. Nilai intensitas radiasi matahari harian serta suhu penyinaran saat siang hari ikut mempengaruhi efisiensi panel *Photovoltaic*. Semakin tinggi nilai intensitas radiasi matahari harian, maka PLTS *Photovoltaic* dapat menghasilkan energi listrik yang lebih banyak. Semakin tinggi nilai kenaikan suhu penyinaran saat siang hari, maka akan menurunkan efisiensi Panel *Photovoltaic*.

4. Total Biaya Investasi Awal yang dibutuhkan dalam perencanaan PLTS dengan sistem *Off-Grid* ini yaitu sebesar Rp.1.405.760.000. Biaya Pemeliharaan dan Operasional sebesar Rp. 44.400.000 / Tahun serta Biaya Siklus Hidup selama 25 tahun sebesar Rp. 1.973.345.624.
5. Nilai *Net Present Value* (NPV) adalah sebesar - Rp. 369.437.012. Sedangkan untuk *Payback Periode* adalah 28 Tahun 9,5 Bulan. Nilai IRR sebesar 3,075%. Nilai ini adalah nilai tingkat suku bunga saat NPV = 0. Nilai ini juga lebih kecil dari pada tingkat suku bunga saat ini yakni 6%. Maka diasumsikan investasi pada proyek ini tidak layak.
6. Nilai *Return of Investment* dalam hal ini adalah sangat relatif. Jika menganggap arus kas adalah tetap setiap tahun tanpa memikirkan tingkat suku bunga, maka ROI bernilai 40,41%. Jika menilai sekarangkan arus kas saat ini dengan tangka suku bunga adalah 6%, maka ROI bernilai -26,28%. Jika menilai sekarangkan arus kas saat ini dengan angka suku bunga adalah 2%, maka ROI bernilai 9,66%.
7. Ditinjau secara ekonomi, proyek atau investasi tentang PLTS *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* pada atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta ini tidak layak. Terlihat dari nilai *Return of Investment* nya yang cenderung bernilai negatif atau dengan kata lain merugi. Selain itu, durasi *Payback Periode* nya juga relatif lebih lama dari umur masa pakai panel *Photovoltaic* itu sendiri. Asumsi usia proyek adalah 25 tahun sesuai dengan garansi usia pakai panel *Photovoltaic*. Namun perhitungan *Payback Periode* adalah 28 tahun 9,5 bulan,

atau lebih lama 3 tahun 9,5 bulan dari usia proyek yang disyaratkan.

5.2 Saran

1. Dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Photovoltaic sistem Off-Grid di atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta diharapkan kedepannya harus memperhitungkan jumlah beban yang akan disuplai oleh sistem PLTS Photovoltaic. Hal ini bertujuan supaya dalam hal menentukan kebutuhan energi listrik yang harus di suplai oleh PLTS Photovoltaic lebih mudah
2. Dibutuhkan kajian lebih mendalam terkait dengan aspek-aspek perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Photovoltaic sistem Off-Grid lainnya. Aspek sosial, sipil, dan lain sebagainya. Agar realisasi perencanaannya menjadi sangat layak untuk diterapkan dan di implementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afrianto, Febri. 2018. *“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Diatap Parkiran Motor Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta”*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [2] Athanasia A. Lazou dan Anastassios D. Papatsoris. 2000. *“The Economics of Photovoltaic Stand-Alone Residential Household: A Case Study for Various European and Mediterranean Location”*. Heslington: Departement of Electronics, University of York.
- [3] Hakim, Muhammad Fahmi. 2017. *“Perancangan Rooftop Off-Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik”*. Malang: Jurnal Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang.
- [4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *“Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik”*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *“Peraturan Menteri ESDM Nomor 55 K/20/MEM/2019 Tahun 2019”*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- [6] Muhammad, H.Rasyid. 1993. *“Elektronika Daya Edisi bahasa Indonesia jilid I”*. Jakarta: PT. Prenhallindo.
- [7] Nurhadi, Ali M., Mochammad, dkk. 2017. *“Model Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Giliyang Madura”*. Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- [8] Rahayuningtyas, Ari dkk. 2014. *“Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan”*. Bandung: LPPM UNISBA.
- [9] Ramdani, Bagus. 2018. *“Panduan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dos & Don'ts”*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- [10] Subhan Nafis, dkk. 2015. *“Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Sistem Ketenagalistrikan Nias”*. Jakarta: Puslitbang KEBTKE.
- [11] Suhartanto, Tri. 2014. *“Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta”*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- [13] Suriadi dan Syukri, Mahdi. 2010. *“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan Di Banda Aceh. Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol. 9 No. 2”*. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- [14] Tarigan, Elisier dan Kartikasari, Fitri Dwi. 2017. *“Analisis Potensi Atap Bangunan Kampus Sebagai Lokasi Penempatan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik”*. Surabaya: Universitas Surabaya.
- [15] Tjok Gd. Visnu Semara Putra. 2015. *“Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 KW Di Dusun Asah Teben Desa Datah Karangasem”*. Bali: Universitas Udayana.