

Perancangan PLTS Atap Gedung F Politeknik Negeri Cilacap Untuk Mendukung Konsep *Green campus*

Riyani Prima Dewi^{1,*}, Novita Asma ilahi¹ dan Erna Alimudin²

¹ Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

² Prodi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

*) *Corresponding author*: ryanipdewi@gmail.com

Abstract

One of the factors that can be assessed in realizing a green campus is the use of renewable energy for electricity. The Cilacap State Polytechnic area located in Cilacap has an average solar radiation value of 3.6 kWh/day. With this value, the installation of rooftop solar panels is the right solution to support the green campus in the aspect of renewable energy. The electricity consumption of building F in one year is 76,635 kWh and currently, it is entirely supplied by PLN. In this research, a roof PV mini-grid design in the F PNC building is carried out and an analysis of the roof PV mini-grid performance is based on the electrical potential that can be generated in one year. Design and calculations were carried out using the software HelioScope. From the simulation results, it is obtained that the PV rooftop that has been designed is able to produce 29,219 kWh per year which can meet 38.13% of the electricity needs of the F PNC building with the PV rooftop performance ratio of 80.1%.

Abstrak

Salah satu faktor yang dapat dinilai dalam mewujudkan konsep *green campus* yaitu adanya bauran *renewable energy* pada sumber listrik di suatu kampus. Kawasan Politeknik Negeri Cilacap yang berlokasi di kabupaten Cilacap memiliki nilai radiasi matahari rata-rata sebesar 3,6 kWh/hari. Dengan nilai tersebut maka instalasi PLTS atap menjadi solusi yang tepat untuk mendukung konsep *green campus* dalam aspek bauran *renewable energy*. Konsumsi beban listrik gedung F dalam satu tahun adalah sebesar 76.635 kWh dan saat ini seluruhnya disupply oleh PLN. Dalam penelitian ini dilakukan suatu perancangan PLTS atap di gedung F PNC dan analisis unjuk kerja PLTS atap berdasarkan potensi listrik yang dapat dihasilkan dalam satu tahun. Desain dan perhitungan dilakukan menggunakan bantuan *software* HelioScope. Dari hasil simulasi, hasil yang diperoleh yaitu PLTS atap yang telah didesain mampu menghasilkan 29.219 kWh per tahun yang dapat memenuhi 38,13% kebutuhan listrik gedung F PNC dengan rasio kinerja PLTS atap yaitu 80,1%.

Kata kunci: *Green campus, Helioskop, PLTS Atap, Renewable Enegy*

PENDAHULUAN

Konsep *green campus* merupakan upaya untuk menangani beberapa permasalahan lingkungan yang tengah terjadi. Dengan menerapkan sistem *green campus* berarti kampus berupaya mengintegrasikan ilmu pengetahuan mereka yang menyangkut kepedulian terhadap lingkungan ke dalam kebijakan, manajemen dan kegiatan tridarma perguruan tinggi. Banyak aspek yang dapat dilakukan untuk mewujudkan sistem *green campus* seperti pengumpulan limbah berdasarkan bahan, promo penggunaan sepeda, dan juga penggunaan *renewable energy* sebagai sumber listrik gedung-gedung kampus. Beberapa kampus di luar negeri yang telah memasang PLTS diantaranya di Negara Amerika Serikat yaitu kampus Arizona State University, Colorado State University, Yale University, di Spanyol yaitu kampus Jaen University, dan di Australia yaitu kampus University of Queensland dengan total kapasitas berangang dari 2 kWp sampai 2000 kWp[1].

Di Indonesia sendiri, ketentuan pemasangan PLTS khusus nya untuk pelanggan PLN baik skala rumah tangga, kampus, atau industri diatur dalam peraturan Peraturan Menteri ESDM Nomor 4 Tahun 2020. Secara teknis teknologi yang digunakan dalam instalasi PLTS ada 2 yaitu *standalone* dan *on-grid*[2]. Namun sesuai dengan peraturan yang berlaku sistem PLTS yang diijinkan adalah sistem *On-grid*. Dengan potensi energi surya di Indonesia yang sangat besar, yaitu sebesar 4,8 kWh/m²/hari [3] maka PLTS menjadi tren baru yang sangat diminati [4] dalam upaya mewujudkan bauran energi listrik untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Tingkat pencemaran dari energi surya juga diketahui lebih rendah daripada pembangkit-pembangkit yang bersumber pada energi fosil[5]. Beberapa penelitian mengenai pemanfaatan atap gedung universitas untuk PLTS atap juga telah dilakukan. Dalam penelitian [6] di Korea Selatan tepatnya di kota Busan menghasilkan kesimpulan bahwa dengan menginstall PLTS di beberapa gedung di universitas memiliki beberapa keuntungan tidak hanya sebagai penyedia energi listrik tetapi juga berpengaruh sangat signifikan pada kontribusi kebijakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mitigasi isu dampak lingkungan.

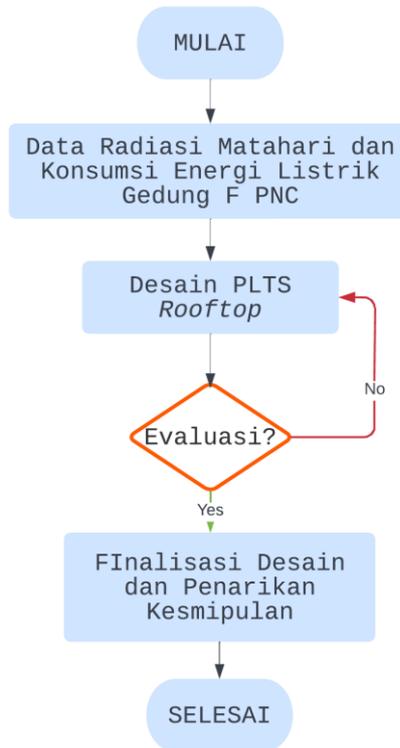
Politeknik Negeri Cilacap berlokasi di kabupaten Cilacap. Berdasarkan penelitian sebelumnya [7], Cilacap diketahui memiliki potensi energi yang baik untuk dikembangkan PLTS baik skala besar maupun skala kecil seperti PLTS atap di perumahan. Untuk mewujudkan tujuan kebijakan *green campus* di Politeknik Negeri Cilacap maka dilakukan penelitian mengenai perancangan PLTS atap di kawasan kampus PNC yaitu di gedung F. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap sekaligus memberikan rekomendasi desain sistem PLTS atap yang akan diterapkan.

METODE PENELITIAN

1. Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan pengumpulan data berupa nilai radiasi matahari dan konsumsi energi listrik di kawasan Gedung F Politeknik Negeri Cilacap. Data ini merupakan data awal yang digunakan sebagai parameter masukan dalam desain dan simulasi. Pengumpulan data ini dilakukan dengan dua tahap yaitu mendapatkan data sekunder radiasi matahari dari BMKG Kota Cilacap serta data sekunder penggunaan listrik bulana Gedung F PNC dari PLN Kota Cilacap dan observasi langsung ke gedung F PNC untuk mengetahui bentuk bangunan khususnya atap gedung F PNC. Langkah selanjutnya adalah desain PLTS atap yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Helioscope. Beberapa pengaturan dalam simulasi ini diantaranya pemilihan teknologi dan orientasi modul surya, pemilihan inverter, ukuran string, serta desain aktual dari peletakan modul surya. Setelah desain selesai dibuat, maka simulasi dijalankan

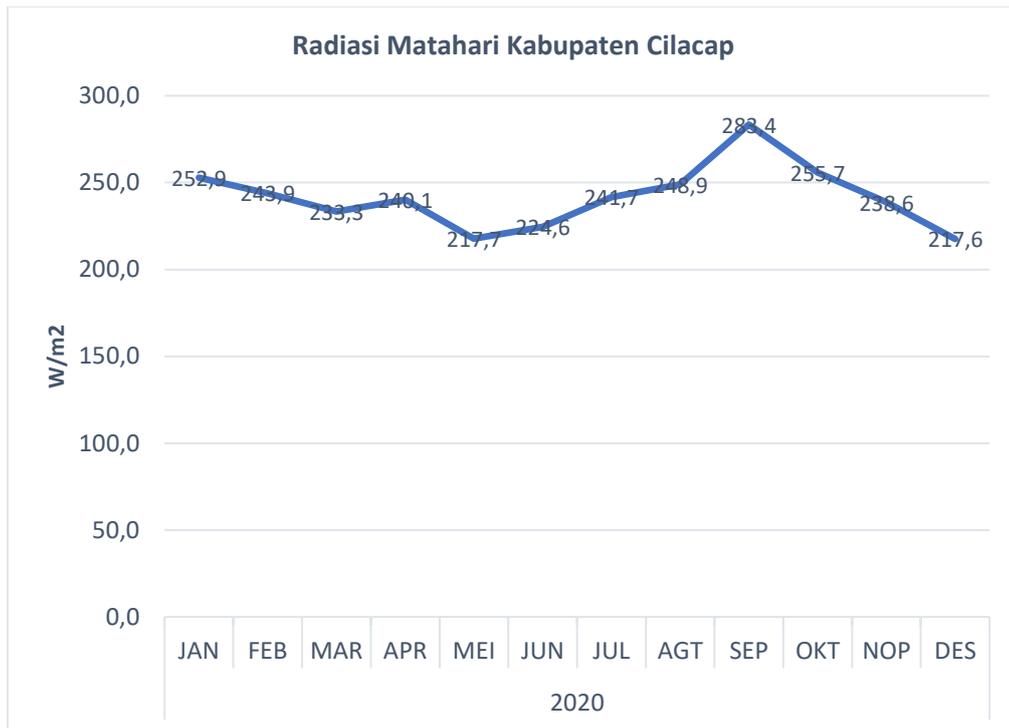
untuk mendapatkan hasil. Evaluasi diperlukan dalam tahap selanjutnya untuk memastikan diperoleh desain yang paling optimal. Data hasil simulasi kemudian diolah untuk penarikan kesimpulan dari desain yang telah dibuat.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2. Pengumpulan Data Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa nilai radiasi matahari, konsumsi listrik gedung F, dan juga kondisi aktual dari atap gedung F PNC. Untuk data radiasi matahari digunakan data radiasi matahari di Kabupaten Cilacap tahun 2020 yang diperoleh dari BMKG Kabupaten Cilacap yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2. Nilai Radiasi matahari di kabupaten Cilacap yang ditunjukkan oleh grafik selalu diatas 200 W/m² disetiap bulannya, nilai maksimumnya terjadi di bulan September sebesar 283,4 W/m² sedangkan nilai minimumnya sebesar 217,6 W/m² di bulan Desember.



Gambar 2. Radiasi Matahari Kabupaten Cilacap

Data kedua yang dibutuhkan adalah data konsumsi energi listrik gedung F Politeknik Negeri Cilacap. Berdasarkan penelitian [8] total konsumsi energi listrik di gedung F PNC adalah sebesar 76.635 kWh per tahun dengan rincian konsumsi perbulannya ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Konsumsi Listrik Gedung F Politeknik Negeri Cilacap

Bulan	Energi Listrik (kWh)
Juli	5.240
Agustus	5.240
September	5.240
Oktober	5.818
November	6.888
Desember	7.051
Januari	6.218
Februari	7.022
Maret	6.644
April	7.718
Mei	7.766
Juni	5.240
Total	76.635

Setelah mendapatkan nilai radiasi matahari pada lokasi penelitian dan juga data konsumsi energi listrik, tahap selanjutnya adalah melakukan observasi guna mengetahui kondisi bangunan terutama bentuk dan atap gedung F. Lokasi penelitian yaitu berada pada latitude - 7.717932218762107, dan longitude 109.01914010764564, Kelurahan Sidakaya, Kecamatan Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacao, Jawa Tengah. Observasi lokasi diperlukan untuk

mempertimbangkan kondisi aktual yang berfungsi untuk pengamatan efek shading. Efek shading sangat mempengaruhi nilai radiasi matahari yang diterima oleh panel surya yang berarti berpengaruh pula pada kinerja PLTS. Gambar 3 menunjukkan kawasan Politeknik Negeri Cilacap yang diambil melalui bantuan citra satelit GoogleMaps. Gedung F PNC ditunjukkan oleh tanda panah berwarna biru.



Gambar 3. Lokasi Gedung F di Kawasan Politeknik Negeri Cilacap

3. Simulasi Helioscope

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan bantuan *software* HelioScope. HelioScope merupakan *web-based simulation* untuk membantu dalam melakukan perencanaan sistem PLTS[9]. Dalam mendesain PLTS atap pada penelitian ini, terdapat data input pada yang harus terpenuhi. Data tersebut adalah titik koordinat lokasi yang akan dipasang PLTS atap, jenis modul surya, serta pemilihan inverter. Pada simulasi juga dilakukan desain gambar PLTS atap, pemilihan jenis racking dan orientasi modul surya, rasio DC/AC atau rasio dari kapasitas *photovoltaic array* terhadap kapasitas inverter terpasang, serta pemilihan ukuran string. Selain itu pengaturan tata letak modul surya juga diatur agar modul menangkap sinar matahari yang optimal. Perhitungan yang dilakukan dalam simulasi diantaranya *Inverter Load Ratio*, *Performance Ratio*, nilai *Total Solar Resource Fraction*, nilai kWh/kWp, serta nilai pemenuhan kebutuhan beban oleh energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap. Dalam rangkuman simulasi juga dihasilkan data berupa rugi-rugi akibat pengkabelan, ketidakcocokan modul atau *mismatch*, rugi-rugi akibat refleksi dan efek shading didapatkan dari perkiraan sesuai datasheet yang digunakan. Berikut beberapa perhitungan dalam simulasi.

Perhitungan *Inverter Load Ratio (ILR)* ditentukan oleh kapasitas DC yang merupakan representasi dari PV array terhadap kapasitas AC yang bersumber dari inverter terpasang, persamaan (1) menunjukkan perhitungan ini.

$$ILR = \frac{DC \text{ Nampelate}}{AC \text{ Nampelate}}$$

Perhitungan *Performance Ratio (PR)* atau rasio kinerja ditunjukkan oleh Persamaan (2) yang dihitung dari persentase total potensi energi PV array yang dikonversikan menjadi energi listrik dalam bentuk arus listrik AC.

$$PR = \frac{\text{Energy to Grid (Wh)}}{\text{POA irradiance } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right) \times \frac{\text{DC Namplate (W)}}{\text{STC } \left(1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)}}$$

Perhitungan *Total Solar Resource Fraction (TSRF)* merupakan perhitungan jumlah sinar matahari di suatu area dalam setahun. TSRF dipengaruhi oleh efek *shading* dan *Tilt and Orientation Factor (TOF)*. Nilai ini sangat jarang mencapai 100% karena beberapa faktor eksternal seperti pepohonan yang pasti membuat bayangan. Perhitungan ini ditunjukkan oleh Persamaan (3) dan (4)

$$TSRF = \frac{TOF}{\text{Solar Access}} \times 100\%$$

$$\text{Solar Access} = \frac{\text{shade irradiance}}{\text{POA irradiance}}$$

Persamaan terakhir yaitu perhitungan nilai kWh/kWp. Nilai ini merupakan perbandingan total energi yang dibangkitkan terhadap kapasitas DC dari PV array dalam setahun.

$$\text{kWh/kWp} = \frac{\text{energy to Grid (Wh)}}{\text{DC Namplate (Wp)}}$$

Hasil dari simulasi berupa nilai hasil produksi energi listrik tahunan, nilai-nilai efek pengkabelan, efek shading, nilai efisiensi komponen, ketidakcocokan modul, serta rekomendasi untuk penyusunan modul surya. Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan dengan konsumsi listrik dari Gedung F dan selanjutnya ditarik kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sistem PLTS Atap Gedung F PNC

Pada desain yang telah dihasilkan, modul surya yang digunakan adalah REC280TP, REC solar. Karakteristik dan spesifikasi dari modul surya ini ditampilkan oleh tabel 2. Tipe sel surya dari jenis ini adalah *multi-crystalline 6 string of 20 cells* dengan nilai efisiensi yang tertera pada *datasheet* adalah sebesar 17%. Nilai efisiensi ini sudah cukup baik mengingat nilai efisiensi modul surya pada umumnya bernilai 10-15%. Pada penelitian sebelumnya [10] nilai maksimal dari efisiensi modul surya setelah ditambahkan reflektor hanya meningkat sekitar 1% dari efisiensi referensinya, yaitu dari 10,71% menjadi 11,13%.

Tabel 2. Spesifikasi Modul Surya REC280TP

<i>Electrical Data</i>	STC	NOCT
<i>Nominal Power - P_{MPP} (Wp)</i>	280	205
<i>Nominal Power Voltage - V_{MPP} (V)</i>	31,9	29,49
<i>Nominal Power Current - I_{MPP} (A)</i>	8,78	6,97
<i>Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)</i>	39,2	36,08
<i>Short Circuit Current - I_{SC} (A)</i>	9,44	7,50

Keterangan :

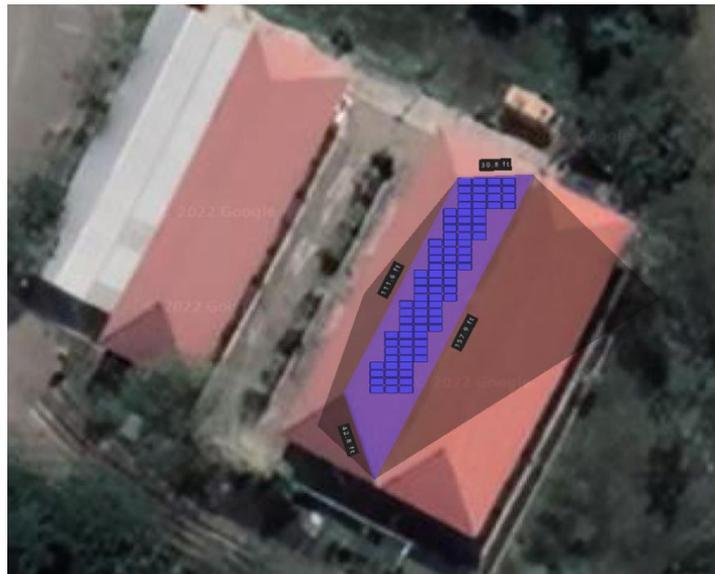
STC = *standard test condition*

NOCT = *nominal operating cell temperature*

STC adalah pengujian yang dilakukan pada irradiance 1.000 W/m² dengan kondisi temperatur sel 25°C, pengujian ini memiliki nilai toleransi sebesar 3%. Sedangkan pengujian NOCT dilakukan pada irradiance 800 W/m² dalam temperatur lingkungan 20°C dalam kondisi kecepatan angin 1 m/s. Dalam desain PLTS atap ini digunakan sebanyak 88 modul surya diseluruh bagian atap gedung F Politeknik Negeri Cilacap.

2. Hasil Simulasi

Desain akhir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Desain ini mempertimbangkan kondisi gedung berdasarkan observasi langsung. Sebanyak 88 modul surya digunakan dalam rancangan ini.

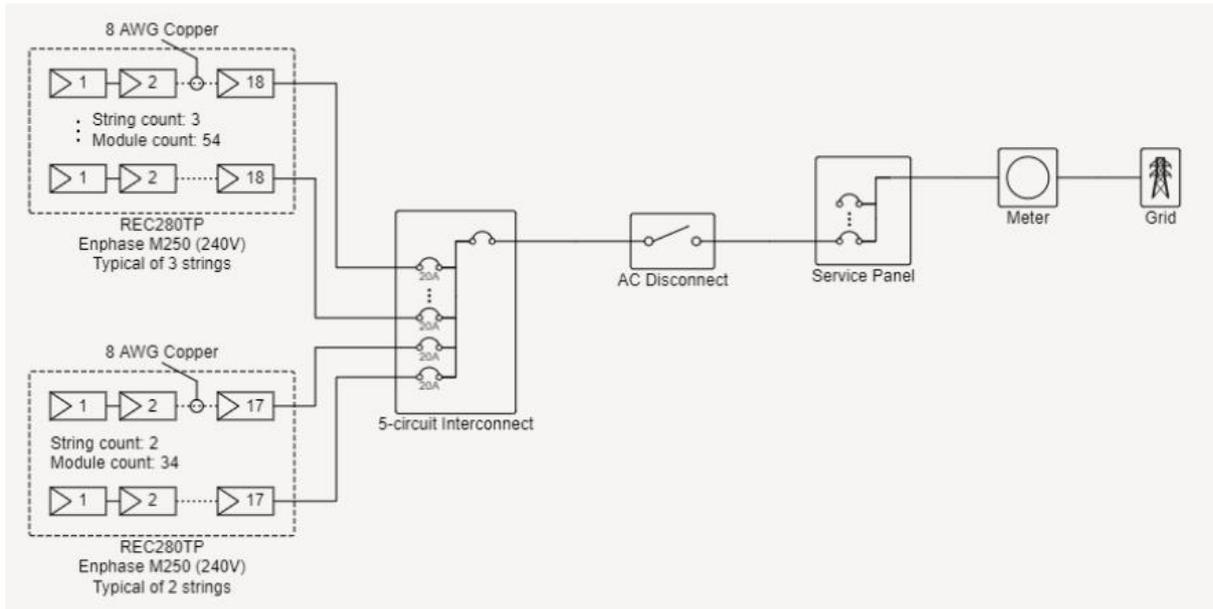


Gambar 4. Desain PLTS Atap Gedung F PNC

Nilai ILR atau perbandingan DC terhadap AC adalah sebesar 1,25 sesuai dengan batas maksimumnya untuk meminimalisir rugi-rugi *oversizing photovoltaic array* atau *over-power clipping losses*[11]. Desain PLTS atap Gedung F PNC mampu membangkitkan kapasitas *photovoltaic array* sebesar 24,6 kWp dengan total 88 unit modul surya yang terhubung dengan jaringan PLN untuk menyuplai kebutuhan beban listrik di gedung F PNC. Dalam desain ini Inverter yang dipilih adalah Enphase M250 dengan total kapasitas daya AC pada *nameplate* 240 W. spesifikasi dari inverter jenis ini dapat dilihat pada Tabel 3. Total inverter yang digunakan adalah 5 buah seperti yang ditunjukkan pada Single Line Diagram di Gambar 5. Pada SLD tersebut menjelaskan proses konversi energi matahari menjadi energi listrik dimulai dari 88 modul surya yang terkelompok menjadi beberapa string yang masing-masing ukuran stringnya yaitu 17 atau 18. Jumlah ini masih sesuai dengan kriteria pengoperasian modul surya sesuai datasheetnya. Selanjutnya, tiap-tiap string terhubung dengan circuit combiner box yang merupakan tempat proteksi arus DC, hingga akhirnya terkoneksi menuju lima inverter untuk diubah menjadi listrik AC sebelum menuju beban listrik.

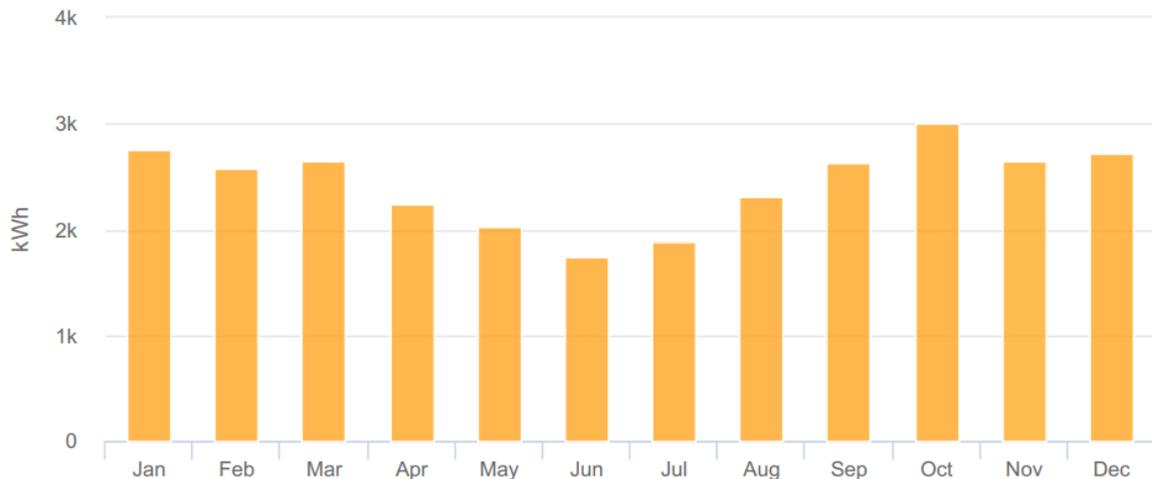
Tabel 3. Spesifikasi Inverter Enphase M250

Spesifikasi Inverter	
<i>Max AC Power Rating</i>	240 W
<i>Max Input Voltage</i>	48 V
<i>Min AC Power Rating</i>	0 W
<i>Min Input Voltage</i>	16 V



Gambar 5. Single Line Diagram sistem PLTS Atap Gedung F

Hasil akhir dari simulasi ini adalah laporan perkiraan potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh sistem PLTS *Rooftop* Gedung F dalam satu tahun yang dapat dilihat pada Gambar 6. Dari grafik dapat kita ketahui bahwa produksi tertinggi terjadi di bulan Oktober dengan total energi sebesar 3kW dan di bulan Juni merupakan produksi energi listrik terendah dengan nilai kurang dari 2kW.



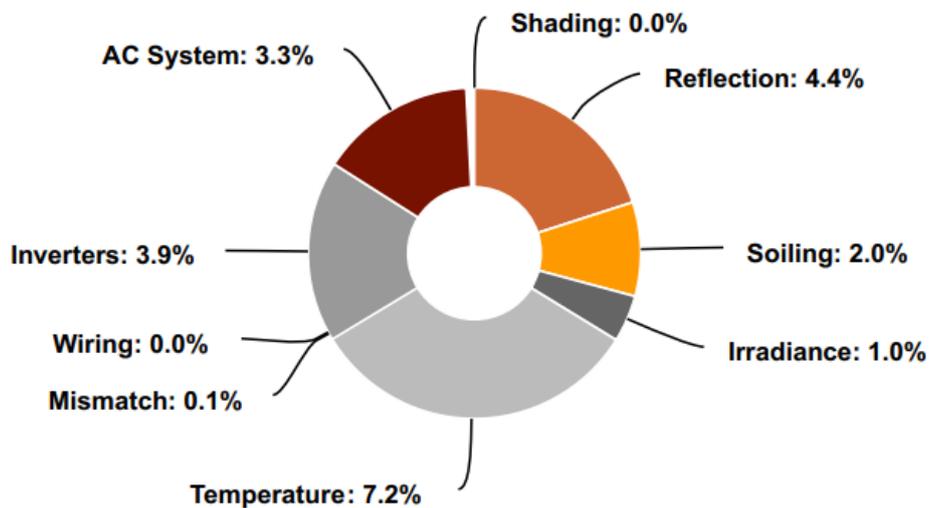
Gambar 6. Produksi Energi Listrik bulanan hasil simulasi Sistem PLTS Atap Gedung F PNC

Rincian nilai-nilai akhir simulasi yang tergambar pada grafik dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai GHI menunjukkan total cahaya matahari yang diterima oleh permukaan horizontal per 1 m² lahan, sedangkan POA menunjukkan nilai kombinasi dari sinar matahari langsung, *diffuse irradiance*, dan iradiasi yang terpantulkan per 1 m² lahan. Dari tabel 6 dapat kita ketahui bahwa potensi energi listrik total dalam satu tahun adalah sebesar 29.219 kWh. Dengan nilai ini, sekitar 38,13% kebutuhan listrik gedung F PNC dapat tercover oleh sistem PLTS atap.

Tabel 6. Hasil simulasi sistem PLTS atap Gedung F PNC

Month	GHI (kWh/m ²)	POA (kWh/m ²)	Shaded (kWh/m ²)	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
January	135.2	140.7	140.7	3,290.2	2,762.8
February	132.7	130.3	130.3	3,035.3	2,577.4
March	151.4	134.7	134.7	3,121.6	2,651.7
April	144.5	113.8	113.8	2,615.3	2,241.6
May	152.6	104.0	104.0	2,359.2	2,035.0
June	136.3	88.7	88.7	1,998.6	1,741.8
July	139.2	95.5	95.5	2,162.3	1,888.9
August	157.8	116.2	116.2	2,651.5	2,310.8
September	154.8	131.6	131.6	3,041.8	2,625.2
October	159.6	151.0	151.0	3,514.2	3,002.8
November	132.6	134.6	134.6	3,146.8	2,653.9
December	132.5	138.6	138.6	3,242.7	2,727.0

Selain hasil potenis listrik yang dibangkitkan, estimasi rugi-rugi pada desain ini juga ditampilkan pada simulasi desain sistem PLTS atap gedung F PNC yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Estimasi Rugi-Rugi sistem PLTS atap gedung F PNC

Rugi-rugi daya terbesar disebabkan oleh temperatur operasi modul surya sebesar 7,2%, sedangkan rugi-rugi lainnya relatif cukup kecil. Rugi-rugi ini dapat diminimalkan dikarenakan penyesuaian desain PLTS atap dengan kondisi aktual bangunan dan lingkungan sekitar, seperti kondisi atap dan pepohonan. Desain ILR yang telah memenuhi *standar Folsom Labs*, yaitu kurang dari 1,25 menyebabkan clipping losses dapat terminimalkan. Total rugi-rugi AC sistem dalam sistem ini adalah sebesar 3,3% yang berarti sebenarnya total energi listrik terbangkitkan adalah

sebesar 29.219 kWh akan tetapi jumlah maksimal yang diperoleh dan disalurkan ke beban harus dikurangkan dengan total rugi-ruginya senilai 3,3%. Hasil simulasi terakhir adalah perhitungan nilai *performance ratio* atau persentase total potensi energi dari PV array yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik AC. Nilai yang diperoleh adalah sebesar 80,1%.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan desain dan simulasi sistem PLTS Atap untuk gedung F Politeknik Negeri Cilacap didapatkan hasil akhir bahwa sistem ini memiliki potensi energi listrik sebesar 29.219 kWh per tahun yang dapat dibangkitkan. Nilai ini setara dengan 38,13% konsumsi listrik Gedung F. Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi listrik terbesar terjadi di bulan Oktober dengan nilai 3002 kW dan nilai terendah terjadi di bulan Juni dengan nilai 1741 kW. Nilai ini sebanding dengan nilai radiasi matahari pada bulan-bulan tersebut. Nilai GHI di kabupaten Cilacap berkisar antara 130 – 150 kWh/m², dan semakin besar nilai GHI maka semakin besar pula potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh modul surya. Pada bulan Oktober yang merupakan bulan terbesar produksi listrik di desain sistem PLTS dalam penelitian ini, nilai GHI nya sebesar 159,6 kWh/m² sedangkan pada bulan Juni hanya sebesar 136,3 kWh/m². Rugi-rugi terbesar pada sistem PLTS atap Gedung F disebabkan oleh temperatur operasi modul surya sebesar 7,2%. Dalam penelitian ini belum membahas mengenai analisis tekno-ekonomi yang bisa dilakukan pada penelitian berikutnya untuk bahan studi kelayakan pemasangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Hamdani, A. Munira, and T. Razali, “Kajian Penggunaan Pembangkit Listrik Photovoltaik Atap Sebagai Upaya Implementasi Green Campus Suheri Informasi Artikel,” vol. 3, no. 1, pp. 254–257, 2019.
- [2] D. Rizkasari, W. Wilopo, and M. K. Ridwan, “Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta,” *J. Appropriate Technol. Community Serv.*, vol. 1, no. 2, pp. 104–112, 2020, doi: 10.20885/jattec.vol1.iss2.art7.
- [3] B. Winardi, A. Nugroho, and E. Dolphina, “Perencanaan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Untuk Desa Mandiri,” *J. Tekno*, vol. 16, no. 2, pp. 1–11, Oct. 2019, doi: 10.33557/jtekn.v16i1.603.
- [4] L. Hernández-Callejo, S. Gallardo-Saavedra, and V. Alonso-Gómez, “A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance,” *Sol. Energy*, vol. 188, pp. 426–440, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.06.017.
- [5] K. Yakin and A. Rajagukguk, “Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Tipe Rooftop on Grid – System Pada Gedung Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau,” *Fteknik*, vol. 7, pp. 1–11, 2020.
- [6] J. Song and Y. Choi, “Evaluation of rooftop photovoltaic electricity generation systems for establishing a green campus,” *Geosystem Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 51–60, Jan. 2015, doi: 10.1080/12269328.2014.997892.
- [7] R. P. Dewi, F. Hazrina, and B. Widianingsih, “Optimalisasi Kapasitas Rooftop PV System Skala Rumah Tangga di Perumahan,” *Infotekmesin*, vol. 13, no. 1, pp. 67–73, Jan. 2022, doi: 10.35970/infotekmesin.v13i1.937.
- [8] F. Hazrina, V. Prasetya, and A. A. Musyafiq, “Audit Dan Analisis Penghematan Energi Sistem Tata Cahaya Gedung E Dan Gedung F Di Politeknik Negeri Cilacap,” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 7, no. 1, pp. 12–19, Mar. 2020, doi: 10.33019/ecotipe.v7i1.1389.
- [9] N. H. Umar, B. Bora, N. Umar, C. Banerjee, and B. S. Panwar, “Synthesis of Mixed phase

- Titania-Carbon nanotube nanocomposite for Dye Sensitized Solar Cell View project Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant,” vol. 7, no. 7, pp. 11–24, 2018, [Online]. Available: www.ijesi.org
- [10] S. Ilyas and I. Kasim, “Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Reflektor Parabola,” *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, pp. 67–80, Feb. 2017, doi: 10.25105/jetri.v14i2.1606.
- [11] Folsom Labs, “No Title,” in *A Deep-Dive into the Top Three PV Design Optimization Trends: SPI Grana Design Optimization by Folsom*, 2016.