

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *ON-GRID* DI ATAP GEDUNG JURUSAN TEKNIK ELEKTRO POLITEKNIK NEGERI AMBON

Nabila Istiqamah Latupono¹, Jacob J. Rikumahu², Lory Marcus Parera³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

nbllatupono@gmail.com

Abstract - This research discusses the planning of PLTS connected to the grid to serve the supply of electrical power in the Electrical Engineering Department of Ambon State Polytechnic. The potential of solar energy in Maluku is very potential for the development of solar energy as future energy, but it has not been optimally used. A dynamic On-Grid solar power generation system can maintain the stability of the power system considering that the lights in several lecture rooms in the Electrical Engineering Department often suddenly experience voltage drops. This happens because of voltage instability. The entry of solar power plants into the main power grid can optimize the utilization of energy from solar cells (photovoltaic) to produce electrical energy as much as possible and can reduce the capacity or operation of conventional plants so as to reduce fuel use. The connected electrical load is 172.14 kVA, and the PLTS system can also supply power to the Electrical Engineering Department building. Planning for Solar Power Plant (PLTS) in the Electrical Engineering Department Building of Ambon State Polytechnic can contribute 61.708 kWp of PLTS power. The design results are 172 panels configured into 8 series strings with an average panel/string of 24 panels.

Keywords: planning, rooftop solar PV, on grid

Abstrak - Penelitian ini membahas tentang perencanaan PLTS terhubung ke grid untuk melayani suplai daya listrik di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon. Potensi energi surya di Maluku sangat potensi untuk pengembangan energi surya sebagai energi masa depan, namun belum dapat digunakan secara optimal. Sistem pembangkit listrik tenaga surya *On-Grid* yang dinamis dapat menjaga stabilitas sistem tenaga listrik mengingat lampu pada beberapa ruang kuliah di Jurusan Teknik Elektro sering tiba-tiba mengalami drop tegangan. Hal ini terjadi karena adanya ketidakstabilan tegangan listrik. Masuknya pembangkit listrik tenaga surya ke jaringan listrik utama dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi dari sel surya (*photovoltaic*) untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin dan dapat mengurangi kapasitas atau operasi pembangkit konvensional sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar. Beban listrik yang tersambung 172,14 kVA,,dan sistem PLTS juga dapat mensuply daya ke bangunan Jurusan Teknik Elektro. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon dapat menyumbangkan daya PLTS sebesar 61,708 kWp. Hasil rancangan terdapat 172 panel yang dikonfigurasi menjadi 8 string seri dengan rata-rata panel/string 24 buah panel.

Kata Kunci: perencanaan, PLTS atap, on grid

I. PENDAHULUAN

Energi matahari adalah salah satu energi terbarukan utama. Pemanfaatan energi ini sangat penting di mana-mana. Fotovoltaik adalah teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya. Indonesia adalah negara tropis yang letak geografisnya dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga mempunyai potensi energi panas matahari yang cukup besar berdasarkan permasalahan kebutuhan listrik di kalangan industri maka energi surya di pilih sebagai salah satu energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik energi surya yang dihasilkan di siang hari bisa membuat penghematan daya berdasarkan cara pemasangan modul surya, pemakaian inverter yang sesuai dan instalasi standar yang terpasang.

Berdasarkan SNI 8395:2017, PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang mengenai sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya. Dengan kondisi penyinaran matahari di Indonesia yang terletak di daerah tropis dan berada di garis khatulistiwa, PLTS menjadi salah satu teknologi penyediaan tenaga listrik yang potensial untuk diaplikasikan [1].

Terbitnya Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PLN yang baru akan menjadi payung hukum untuk memudahkan masyarakat (baik perkantoran maupun perumahan) untuk memasang jajaran panel surya pada atap, atau bagian luar gedung lainnya sehingga masyarakat juga bisa membayar tagihan listrik lebih murah melalui mekanisme “ekspor-impor” listrik dengan PLN. [2]

Pemasangan modul surya di atap gedung dengan pemasangan yang mengikuti arah matahari sangat berpengaruh pada energi listrik yang dihasilkan maka dari itu memaksimalkan keluaran listrik dari modul surya sangat di perlukan. pemasangan PLTS On-Grid sendiri juga dapat menghemat listrik serta PLTS On-Grid tidak menggunakan *battery* yang artinya akan lebih efisien dari segi biaya alternatif ini juga dapat menjadi solusi untuk penghematan biaya operasional genset .

Sistem PLTS dapat dibagi berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya. Secara umum PLTS dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (on-grid PV system) dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (off-grid PV system) atau PLTS yang berdiri sendiri (stand-alone) [3].

PLTS Rooftop On Grid (PLTS Atap/Solar Rooftop / PV Roof) adalah sistem pembangkitan listrik matahari dimana PLTS beroperasi paralel dengan grid (jaringan listrik PLN) yang ditujukan untuk penghematan konsumsi listrik PLN/grid. Dinamakan rooftop karena umumnya panel surya diletakkan di atas atap bangunan (rumah/gedung) [4].

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem AC Coupling

Komponen utama yang membedakan sistem AC-coupling dengan DC-coupling adalah inverter jaringan. Dalam konfigurasi *AC-coupling*, modul fotovoltaik dan baterai dihubungkan di bus AC melalui inverter jaringan dan inverter baterai. Modul fotovoltaik terhubung ke inverter jaringan dimana tegangan diubah dari DC ke AC. Serupa dengan charge controller, inverter jaringan juga dilengkapi dengan perangkat MPPT untuk mengoptimalkan penangkapan energi. Daya dari rangkaian modul fotovoltaik dapat langsung digunakan oleh beban di siang hari dan kelebihannya digunakan untuk mengisi baterai melalui inverter baterai pada saat yang sama [5].



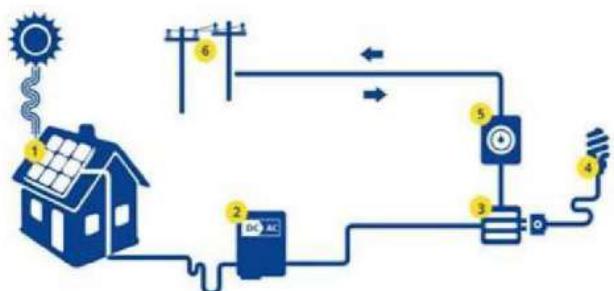
Gambar 1. Sistem AC Coupling pada siang hari



Gambar 2. Sistem AC Coupling pada malam hari

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS Atap)

Sesuai ketentuan dalam Peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018, jo. Permen No.13 tahun 2019, jo. Permen No.16 tahun 2019, PLTS atap adalah proses pembangkitan tenaga listrik yang menggunakan modul fotovoltaik, yang diletakkan di atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLN. Secara umum PLTS atap memiliki mekanisme dan komponen utama seperti digambarkan pada skema di bawah ini:

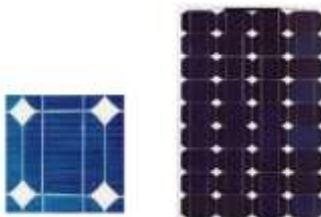


Gambar 3. Mekanisme Sistem PLTS Atap

Mekanisme sistem PLTS atap adalah sebagai berikut: Perangkat / komponen solusi PLTS Rooftop On Grid (PLTS Atap /Solar Rooftop/ PV Roof) terdiri dari Solar Module / PV Array, Solar Inverter, Panel Proteksi AC & DC, Power Cable, Monitoring System dan PV Mounting System. Seluruh perangkat / komponen wajib (mandatory) menggunakan komponen yang kami suplai untuk memudahkan dalam collecting semua perangkat / komponen yang dibutuhkan dan layanan purna jual [1].

2.2.1 Solar Module / PV Array

Panel surya mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya menghasilkan arus listrik. Modul Surya Berdasarkan SNI 8395:2017 adalah beberapa sel surya yang digabungkan menjadi sebuah perangkat yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Modul surya adalah komponen utama pada PLTS off-grid maupun on-grid. Tanpa komponen ini energi listrik tidak dapat dihasilkan [6].



Gambar 4. Modul Surya

2.2.2 Solar Inverter

Solar Inverter adalah perangkat utama sistem PLTS setelah panel surya. Perangkat ini mengkonversi listrik DC dari panel surya menjadi listrik AC yang dapat dikonsumsi oleh beban-beban yang ada. Hal ini menjadikan solar inverter merupakan hal yang esensial pada sistem PLTS, terutama PLTS On Grid. Solar inverter sering diistilahkan dengan nama PV Inverter, Grid-tie Inverter, On Grid Inverter dan istilah lain yang mengacu pada perangkat yang sama [4].



Gambar 5. Solar Inverter

2.2.3 Panel Proteksi AC & DC

Panel proteksi elektrikal (AC/DC) merupakan kotak terminal untuk proteksi pada sisi tegangan AC dan tegangan DC. Komponen-komponen yang digunakan menyesuaikan dengan arus, tegangan dan sistem daya [6].

2.2.4 Power Cable

Untuk meningkatkan efisiensi PLTS, kabel PV yang digunakan dalam sistem PLTS harus khusus, karena kabel Fotovoltaik didesain khusus untuk instalasi permanen yang menghubungkan komponen sistem fotovoltaik di dalam dan di luar gedung dan peralatan dengan persyaratan mekanis tinggi dan kondisi cuaca ekstrem. Kabel memiliki ketahanan tinggi terhadap panas, dingin, minyak, abrasi, ozon, UV dan cuaca; Mampu bereaksi yang lebih baik, jika terjadi kebakaran, asap rendah, bebas halogen, bebas api, tahan api; Fleksibel, mudah dilepas, kebutuhan ruang sangat rendah, sangat kuat secara mekanis, masa pakai sangat lama [7].



Gambar 6. Kabel PV

2.2.5 Monitoring System

Solar charge controller (SCC) atau juga dikenal sebagai battery charge regulator (BCR) adalah komponen elektronik daya di PLTS untuk mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul fotovoltaik menjadi lebih optimal. Perangkat ini beroperasi dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari lari modul fotovoltaik dan status pengisian baterai (SoC, state of charge). Untuk mencapai arus pengisian yang lebih tinggi, beberapa SCC dapat dipasang secara paralel di bank baterai yang sama dan menggabungkan daya dari lari modul fotovoltaik. Untuk solar panel lebih dari 200 Wp perlu menggunakan SCC tipe Maximum Power Point Tracking (MPPT), karena MPPT mampu mendeteksi daya yang diproduksi solar panel, walaupun kecil, tetap dapat mengisi baterai [8].

2.2.6 PV Mounting System

PV Mounting adalah komponen pembangkit tenaga surya yang berfungsi untuk tempat meletakan panel surya secara aman dengan mempertimbangkan arah matahari. Mounting system dapat diaplikasikan diberbagai tempat menyesuaikan dengan kebutuhan dan aplikasi PLTS.



Gambar 7. PV Mounting

2.3 Shading

Keluaran listrik yang dibangkitkan sel surya juga bergantung pada efek bayangan atau shading effect, yaitu kemungkinan terhalangnya panel surya surya akibat bayangan suatu benda yang mengakibatkan berkurangnya sinar matahari yang dapat diterima oleh panel surya. Problem yang umum timbul akibat efek bayangan antara lain; Berkurangnya luasan daya dari keluaran daya nominal, karena insolasi berkurang sehingga photo-current dari matahari pun berkurang. Arus tiap sel menurun, karena sel disusun secara seri, Stress akibat panas yang tidak merata pada permukaan panel surya akan meningkatkan suhu pada sel secara dramatis, sehingga timbul overheating pada sel-sel tertentu [1].

2.4 Hot Spot

Masalah lain yang mungkin timbul akibat dari bayangan parsial/sebagian pada panel surya adalah terjadinya titik panas (hot spot). Hot spot adalah titik panas yang terjadi akibat sebagian area dari modul surya mengalami shading dan menjadi beban karena menghasilkan energi yang rendah dibanding dengan bagian yang lain. Berikut gambaran kerusakan akibat adanya hotspot pada panel surya. Secara teknis, sudah terdapat teknologi yang dapat diaplikasikan untuk menghindari terjadinya hot spot, jika panel surya atap harus tetap dipasang di lokasi yang memiliki efek bayangan parsial, yaitu menggunakan diode bypass, melalui pemasangan modul surya secara paralel, atau menggunakan microinverter [1].

2.5 Sistem Pembumian Fotovoltaik

Sistem Kelistrikan dengan Photovoltaic mampu menimbulkan hal-hal yang berbahaya dikarenakan adanya tegangan dan arus listrik yang terus mengalir selama bertahun-tahun, sehingga untuk memastikan adanya keamanan dan kenyamanan dari pengguna Photovoltaic, sebuah Photovoltaic system harus dipasang menggunakan standar yang tinggi pada instalasinya.

2.5.1. Jenis Pentanahan

Ada 2 jenis Pembumian dalam PV system (sama seperti sistem kelistrikan AC lainnya)

1. Equipment Grounding/ Negative Grounding/ Protective Earthing

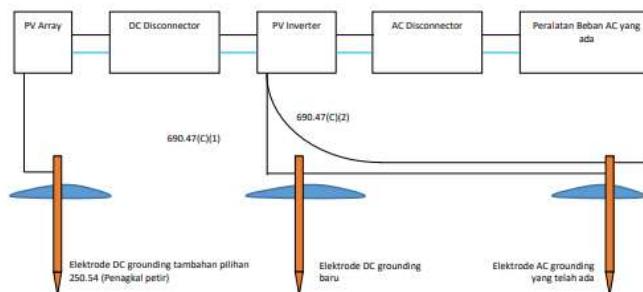
Dikenal sebagai safety grounding ataupun Protective Earthing berfungsi menghubungkan bagian yang tidak menghantarkan arus pada sebuah peralatan ke tanah. Ketika terjadi kebocoran arus listrik pada bodi peralatan, misal modul frame atau PV combiner yang terbuat dari logam, tegangan listrik akan dialirkan ke bumi, sehingga tidak akan membahayakan makhluk hidup disekitarnya yang menyentuh body peralatan tersebut.

2. System Grounding/ Positive Grounding/ Functional Grounding

Dikenal sebagai functional grounding berfungsi menghubungkan salah satu dari konduktor penghantar arus dengan pentanahan secara langsung atau dihubungkan paralel dengan equipment grounding system. Konduktor tersebut yang telah terhubung ke equipment grounding disebut sebagai grounded conductor.

2.5.2. Metode Pentanahan dari Solar PV

Metode Pentanahan PV Inverter 2005 NEC Section 690.47 Metode pentanahan ini masih tergolong tipe pentanahan negatif. Pada metode ini terdapat dua elektrode pentanahan DC untuk PV Array yang dipasang pada PV Array Frame sebagai elektrode tambahan dan elektrode pentanahan DC yang dipasang baru pada terminal DC Grounding yang ada di inverter. Elektrode DC Grounding dari input inverter diparalel dengan elektrode AC grounding yang sudah ada. Juga kabel grounding dari input inverter pun dihubungkan paralel dengan elektrode grounding AC yang sudah ada [7].



Gambar 8. Metode Pentanahan PV Inverter

III. METODOLOGI

Metode penelitian adalah metode kuantitatif untuk pengumpulan data diambil langsung dari Jurusan Teknik Elektro dengan melakukan wawancara terhadap pihak Jurusan. Setelah melakukan diskusi dengan pihak Jurusan dan mendapatkan data penulis melakukan perhitungan untuk perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* di Atap Gedung Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon. ada penelitian ini, jenis-jenis data yang dibutuhkan dalam proses penelitian sampai mendapatkan hasil analisis adalah Jumlah kebutuhan daya listrik dan data beban di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Manfaatan energi baru terbarukan khususnya tenaga surya menjadi salah satu alternatif yang sangat tepat, karena sifatnya gratis dan berasal dari alam. Untuk pengembangannya membutuhkan teknologi yang tepat dan sangat praktis. Penggunaan tenaga surya yang dimaksud untuk membantu menyuplai energi listrik di lokasi penelitian yaitu di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon.

Untuk mengetahui potensi dari daya listrik yang mampu dihasilkan atap Gedung Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon, Langkah pertama yang dilakukan adalah mengetahui luas atap Gedung Jurusan Teknik elektro Politeknik Negeri Ambon.



Gambar 9. Luas Atap Gedung Jurusan Teknik Elektro

Tabel 1 Data Beban Gedung Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

Lantai	No	Jenis Peralatan	Jumlah	Daya (W)	Lama Penggunaan (jam)	Konsumsi Energi (Wh)
1	1	Lampu Neon	22	40	12	10560
	2	AC	9	1590	12	171720
	3	Infocus	4	125	12	6000
	4	Lampu Philips	4	25	12	1200
Total						189480
2	1	Lampu Neon	28	40	12	13440
	2	AC	3	1590	12	57240
	3	Infocus	2	125	12	3000
	4	Lampu Philips	2	25	12	600
Total						74280
3	No					
	1	Lampu Neon	13	40	12	6240
	2	AC	5	1590	12	95400
	3	Infocus	2	125	12	3000
	4	Lampu Philips	1	25	12	300
Total						172140

3.1. Menentukan Kapasitas PV Modul

$$PV_{area} = \frac{El}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}}$$

Dimana:

EL = Besar Pemakaian Energi Listrik

Gav = Nilai Insolasi Rata-Rata Harian Matahari

η_{PV} = Efisiensi Panel Surya

η_{out} = Efisiensi Inverter

$$PV \text{ Area} = \frac{320.700 \text{ kWh}}{5.38 \text{ kWh/m}^2 \times 0.188 \times 0.94 \times 0.98} \\ = 344.195 \text{ m}^2$$

3.2. Menghitung Daya Yang Dibangkitkan PLTS

$$P \text{ Watt Peak} = \text{area array} \times \text{PSI} \times \eta_{PV} \\ P \text{ Watt Peak} = 344.195 \text{ m}^2 \times 1000^W/\text{m}^2 \times 0,188 \\ = 64.708.660 \text{ Watt Peak} \approx 64,708 \text{ kWp}$$

3.3. Menghitung Jumlah Panel Surya

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{Watt peak}}{P_{MPP}} \\ = \frac{64.708 \text{ kWp}}{375W} \\ = 172,554 \approx 172 \text{ Panel Surya}$$

4.4. Menghitung Kapasitas Inverter

Dari hasil perhitungan daya yang dibangkitkan sebesar 64.708 kWp, maka untuk pemilihan inverternya sendiri digunakan 12 buah inverter 5000 w growatt.

4.5. Menentukan Rangkaian Panel Surya

$$\text{Max Modul Seri Per String} = \frac{550 \text{ V}}{40.3 \text{ V}} = 13,64 \approx 14 \text{ Panel}$$

Menurut hasil perhitungan dari batas minimum dan maksimum dari modul surya, dan telah diketahui bahwa akan dipakai modul surya sebanyak 172 panel. 172 panel ini nantinya terbagi menjadi 8 string dengan 6 string terdiri dari 24 modul surya dimana setiap 24 modul ini dibagi menjadi 2 string yang masing-masing string terdiri dari 12 modul surya dan 2 string terdiri dari 14 modul surya dengan perbandingan ukuran modul serta luas atap tempat pemasangan pemanngkit nantinya.

Berdasarkan kapasitas panel terpasang didapatkan hasil pengurangan susut panel surya sebesar 54,825. Berikut ini akan dianalisis energi yang dihasilkan modul surya relatif terhadap data radiasi matahari terendah sebesar 4,55 kWh dan tertinggi 6,21 Jika data yang digunakan adalah radiasi matahari terendah yaitu 4,5 maka dapat menggunakan persamaan berikut untuk menghitung energi yang dihasilkan panel :

$$P_{out} = P_i \times \text{radiasi matahari minimum} \\ = 54,853 \times 4,5 \text{ kWh/m}^2 \\ = 248,4 \text{ kWh}$$

Jadi, energi yang dihasilkan pada saat radiasi matahari terendah adalah 248.453 kWh

Jika menggunakan data radiasi matahari tertinggi yaitu 6,21 maka :

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= P_i \times \text{radiasi matahari maksimum} \\ &= 54,853 \times 6,2 \text{ kWh/m}^2 \\ &= 340,36 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jadi energi yang dihasilkan pada radiasi matahari tertinggi adalah 400.545 kWh. Jika ingin menghitung energi rata-rata yang dihasilkan setiap tahun, data radiasi yang digunakan adalah radiasi rata-rata atau *Peak Sun Hour* (PSH) dengan nilai 5,38 maka:

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= P_i \times \text{PSH} \\ &= 54,853 \times 5,38 \text{ kWh/m}^2 \\ &= 294,9 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tabel 2. Besar Daya Keluaran PLTS

Radiasi Matahari Terendah (kWh)	Radiasi Matahari Tertinggi (kWh)	Radiasi Matahari Rata-Rata (kWh)	Energi Yield (kWh/Tahun)
248.453	340.468	294.958	107.659.852

4.6. Analisa Ekonomi

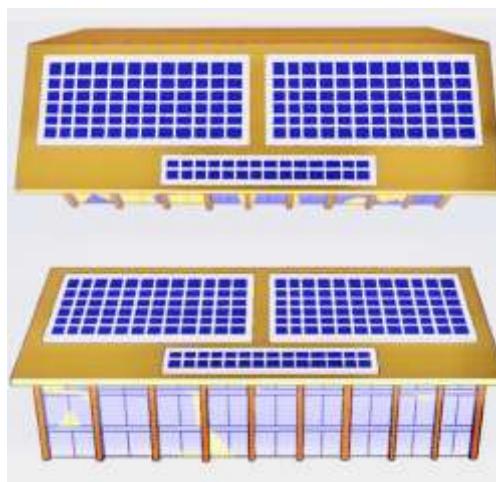
Tabel 3. Rincian Investasi Awal

No.	Komponen	Jumlah	Harga Satuan	Total harga
1	Panel Surya 375 kWp Monocristalin	172	Rp 2.228.944	Rp 383.378.368
2	inveeter On Grid	14	Rp 7.254.108	Rp 101.557.512
3	Combiner Box	3	Rp 6.000.000	Rp 18.000.000
4	Biaya Instalasi (power cable, proteksi dan modul suport)	1	Rp 38.000.000	Rp 38.000.000
Total				Rp 540.935.880

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS dihitung sebesar 1% sampai 2 % dari total biaya investasi awal. Besar persentase tersebut mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan serta pemeriksaan peralatan komponen.

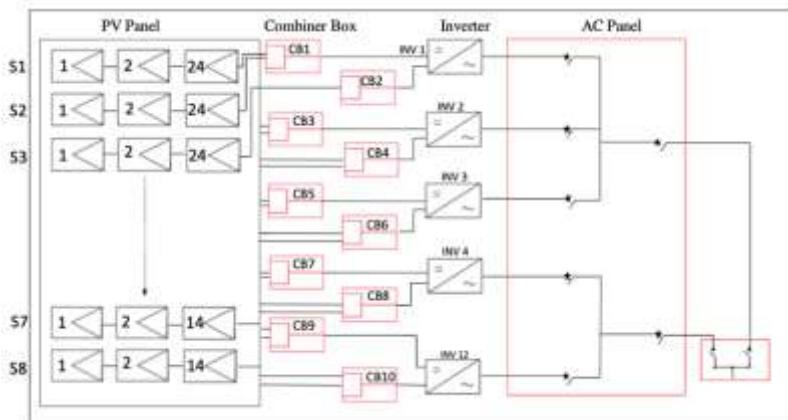
Adapun pada penelitian ini, biaya pemeliharaan dan operasional (M) ditetapkan sebesar 1% dari total biaya investasi awal. Hal itu karena Indonesia hanya memiliki 2 musim, yaitu musim hujan dan kemarau, dibandingkan negara lain yang memiliki 4 musim, sehingga biaya pemeliharaan dan operasionalnya lebih besar. Besarnya biaya tersebut per tahun adalah:

$$\begin{aligned} M &= 0,01 \times \text{total biaya investasi} \\ &= 0,01 \times \text{Rp. } 540.935.880 \\ &= 5.409.359/\text{tahun} \end{aligned}$$



Gambar 10. Rancangan Akhir Peletakan Panel Surya *On-Grid* di atas Atap Gedung Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon.

Panel diihruskan menghadap ke selatan untuk memaksimalkan nilai penyerapan iradiasi. Kebutuhan pada penelitian mengambil nilai *iradian* yang didapatkan dari data NASA dengan memasukkan nilai koordinat sesuai dengan koordinat Gedung. Pada singe line diagram dibawah ini merupakan hasil desain yang kemudian akan dilakukan studi kelayakan secara teknis terhadap hasil rancangan tersebut.



Gambar 11. Single Line Diagram

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Gedung Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon dari hasil perencanaan menghasilkan daya PLTS sebesar 61,708 kWp.
2. Dari hasil rancangan terdapat 172 panel yang dikonfigurasi menjadi 8 string seri dengan rata-rata panel/string 24 buah panel.
3. Berdasarkan Analisa Ekonominya, perencanaan ini membutuhkan biaya investasi sebesar Rp.534.935.880

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rachmi, B. Prakoso, Hanny Berchmans, I. Devi Sara, and Winne, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*. 2020.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Rencana Strategi Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi 2020-2024*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020.
- [3] B. M. Pangaribuan, I. Ayu, D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, “Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana : Gedung Rektorat,” *Spektrum*, vol. 7, no. 2, pp. 90–100, 2020.
- [4] Hexamitra Powering Future, “PLTS Rooftop On Grid,” vol. 0187, no. 54216, p. 54216, 2019.
- [5] R. P. Saichu, “Sistem PLTS AC Cuouple, DC Couple dan SHS,” 2023.
- [6] M. S. Ing. Bagus Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya : Dos & Don'ts*. Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (EnDev) Indonesia, 2018. [Online]. Available: www.endev-indonesia.info
- [7] Iman Permana, “Memasang Pembangkit Listrik Tenaga surya (PLTS) TYPE RoofTop,” pp. 1–47, 2020.
- [8] S. W. Tan, M. A. F. Haurissa, and L. M. Parera, “Perancangan PLTS Off Grid untuk Bagan Nelayan di Laut Maluku,” vol. 3, no. 1, pp. 187–193, 2022.