



Konfigurasi Kelistrikan dan Proteksi PLTS Atap pada Gudang C 1-7 PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya

Donny Pratama^{1*}, Haolia Rahman², Arifia Ekayuliana³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address: Haolia.Rahman@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi dalam mendukung transisi energi dan pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Indonesia. Keberhasilan implementasi PLTS tidak hanya ditentukan oleh potensi energi yang dihasilkan, tetapi juga oleh konfigurasi sistem kelistrikan dan sistem proteksi yang menjamin keandalan serta keselamatan operasi. Penelitian ini bertujuan merencanakan konfigurasi kelistrikan dan sistem proteksi PLTS Atap on-grid pada Gudang C PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. Perancangan meliputi konfigurasi modul surya, inverter, sistem pengkabelan sisi DC dan AC, serta pemilihan perangkat proteksi seperti sekering (fuse), DC isolator, surge protective device (SPD), miniature circuit breaker (MCB), molded case circuit breaker (MCCB), dan sistem pentanahan sesuai standar yang berlaku. Analisis juga mempertimbangkan pengaruh soiling terhadap penurunan kinerja modul surya sebagai dasar evaluasi keandalan sistem. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk memperoleh estimasi produksi energi dan performa sistem. Dari hasil analisis ini, dapat menghasilkan rancangan konfigurasi kelistrikan dan sistem proteksi PLTS yang aman, andal, serta sesuai dengan standar teknis sehingga dapat mendukung implementasi PLTS atap di lingkungan PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya.

Kata kunci: PLTS Atap, Konfigurasi Kelistrikan, Sistem Proteksi, On-Grid, PVsyst.

Abstract

Solar photovoltaic (PV) systems have become one of the most promising renewable energy technologies to support Indonesia's energy transition and reduce greenhouse gas (GHG) emissions. The successful implementation of rooftop PV systems depends not only on energy production but also on the design of the electrical configuration and protection system to ensure operational safety, reliability, and compliance with applicable technical standards. This study aims to design the electrical configuration and protection system of an on-grid rooftop PV installation for Warehouse C at PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. The proposed design includes the configuration of PV modules, inverter selection, DC and AC electrical distribution, and the selection of protection devices, including DC fuses, DC isolators, surge protective devices (SPDs), miniature circuit breakers (MCBs), molded case circuit breakers (MCCBs), and grounding systems. In addition, the study evaluates the impact of soiling on PV module performance as part of the system reliability assessment. System performance is simulated using PVsyst software to estimate energy production and operational performance. The proposed design is expected to provide a safe, reliable, and standards-compliant electrical configuration and protection system for supporting rooftop PV implementation at PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. The result of this analysis enable the development of a safe, reliable electrical configuration and protection system design for the solar PV plant that complies with technical standards, thereby supporting the implementation of rooftop solar PV at the PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya facility.

Keywords: Rooftop Photovoltaic, On-Grid PV System, Electrical Configuration, Protection System, PVsyst, Soiling.

1. PENDAHULUAN

Sektor energi menyumbang emisi GRK yang besar di Indonesia. Di sisi lain, potensi iradiasi matahari nasional sangat stabil (rata-rata 4,8 kWh/m²/hari). Didorong oleh kewajiban transisi energi bagi BUMN dalam **Permen ESDM No. 2 Tahun 2024** serta tingginya tarif listrik premium PLN (Rp 2.550/kWh), PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya berencana memperluas pemanfaatan energi surya melalui pemasangan PLTS Atap di Gudang C PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya. Perencanaan sistem PLTS Atap menggunakan skema *On-Grid* tanpa baterai yang disimulasikan melalui *software PVsyst*. Penelitian ini berfokus pada analisis kekuatan struktur atap, desain sistem kelistrikan dan proteksi operasional, serta pemilihan komponen yang optimal.

Mengingat lokasinya yang berada di kawasan industri PLTU, penelitian ini membedah dampak penurunan daya akibat debu (*soiling*) secara spesifik berdasarkan data historis operasional PLTS CWP per Januari–Februari 2026 sebagai basis strategi pemeliharaan. Menilai efisiensi ekonomi jangka panjang dari proyek mandiri ini dengan mengukur parameter investasi seperti **NPV**, **IRR**, **Payback Period**, serta kontribusinya terhadap reduksi emisi karbon.

2. METODE PENELITIAN

- Langkah awal yang dilakukan tim tidak langsung di depan komputer, melainkan turun ke lapangan (Survey Lapangan). Di sini, tim memeriksa fisik atap Gudang C, melihat arah datangnya matahari, dan mengukur luas area.
- Setelah itu, tim melakukan Identifikasi Peralatan untuk memetakan spesifikasi panel surya dan inverter yang cocok dengan kondisi lapangan, dibarengi dengan Studi Literatur demi memastikan perencanaan ini tidak menabrak aturan hukum (seperti Permen ESDM No. 2/2024) dan standar keselamatan kelistrikan. Semua data mentah mengenai rencana kapasitas dan sistem proteksi ini kemudian dirangkum menjadi satu Input Data awal, yang disimbolkan oleh jajaran genjang.
- Data mentah tadi diolah dalam tahap Analisa untuk Konfigurasi Kelistrikan dan Proteksi PLTS (di sinilah perangkat lunak seperti *PVsyst* digunakan untuk menghitung produksi energi, dampak debu/*soiling*, dan keamanan sistem elektrikal).
- Setelah dianalisis, sistem diuji apakah sudah sesuai dan memenuhi standart. Jika belum sesuai, hasil simulasi menunjukkan proteksi kurang aman, struktur atap kelebihan beban, atau efisiensinya buruk, tim akan berputar balik (looping) ke atas untuk mendesain ulang konfigurasi kelistrikan sampai batas aman terpenuhi. Jika semua parameter teknis dan keamanan dinyatakan lolos, tim melangkah ke tahap akhir, yaitu merumuskan rekomendasi dan saran (termasuk kelayakan finansial NPV/IRR untuk manajemen).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem PLTS

Sistem PLTS yang dirancang untuk Gudang C merupakan sistem *On-Grid* tanpa baterai (penyimpanan energi), sesuai dengan batasan penelitian dan Permen ESDM No. 2 Tahun 2024. Pada siang hari, energi listrik yang dihasilkan oleh PV *array* akan dikonversi oleh inverter Solis-110K-5G menjadi arus AC dan langsung digunakan untuk mensuplai beban kelistrikan Gudang C. Apabila terdapat kelebihan daya yang tidak terpakai oleh beban, energi tersebut akan diekspor ke jaringan PLN, sedangkan pada malam hari atau saat radiasi matahari tidak mencukupi, seluruh kebutuhan listrik Gudang C akan disuplai sepenuhnya oleh jaringan PLN.

Dengan skema ini, beban Gudang C disuplai dari dua sumber secara paralel (*synkron system*), yaitu PLN sebagai sumber utama dan PLTS sebagai sumber tambahan, sebagaimana telah dijelaskan pada landasan teori PLTS Sistem *On-Grid*. Penerapan sistem ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi dari PLN yang dikenakan tarif layanan premium sebesar Rp 2.550/kWh, sehingga memberikan dampak penghematan biaya listrik bagi PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya.

Data Iradiasi Matahari dan Peak Sun Hours (PSH)

Lokasi perancangan PLTS atap pada Gudang C memiliki nilai Peak Sun Hours (PSH) sebesar 4,82 jam/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa energi radiasi matahari yang diterima setiap hari setara dengan penyinaran penuh pada intensitas 1 kW/m² selama 4,82 jam.

Nilai PSH tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam menentukan kapasitas sistem PLTS melalui perhitungan manual sebelum dilakukan proses simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Selain nilai PSH, faktor lain yang turut digunakan dalam perhitungan adalah kebutuhan energi listrik harian gedung serta *Performance Ratio* (PR) sistem sebesar 80%. PR diambil dari referensi atau standar yang menyatakan bahwa sistem PLTS atap yang dirancang dengan baik umumnya memiliki PR antara 75%–85%. Oleh karena itu, banyak penelitian menggunakan 80% sebagai nilai asumsi pada tahap perancangan awal. Dengan menggunakan parameter-parameter tersebut, diperoleh kapasitas PLTS yang dirancang sebesar 129,03 kWp.

$$PSH = \frac{4,82 \text{ (kWh/m}^2\text{/hari)}}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,82 \text{ jam}$$

Perancangan Desain PLTS

Berdasarkan simulasi teknis menggunakan perangkat lunak PVsyst terhadap desain *Capstone Project* PLTS Atap *On-Grid* Gudang C PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya 1-7, diperoleh parameter utama berupa produksi energi dan kinerja sistem. Selain itu juga, kami melakukan perhitungan secara manual sebagai pembandingan untuk mengevaluasi hasil yang diperoleh antara software PVsyst dengan perhitungan manual. Evaluasi ini bertujuan untuk memvalidasi seberapa besar efisiensi dan keandalan sistem dalam memenuhi kebutuhan energi listrik sebelum diimplementasikan secara nyata. Berdasarkan ringkasan hasil simulasi tahunan, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik sebesar 149.395 kWh/tahun. Merujuk pada kapasitas terpasang sistem sebesar 129,6 kWp, nilai produksi spesifik yang dihasilkan adalah sebesar 1.153 kWh/kWp/tahun.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi PVsyst V7.4.

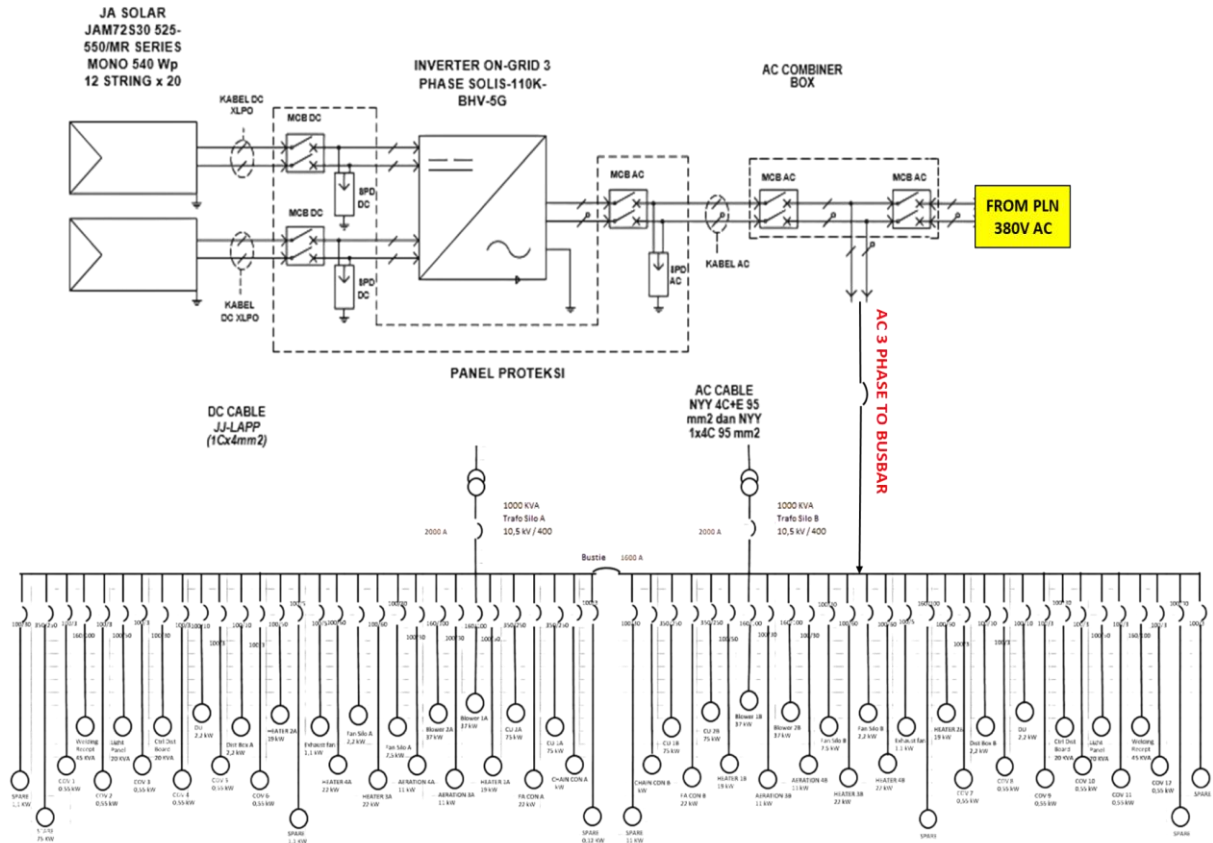
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	151.2	80.02	26.87	145.5	110.7	12760	12287	0.852
February	148.4	81.28	26.82	142.9	109.1	12598	12136	0.855
March	162.6	84.89	27.19	156.6	119.5	13765	13258	0.853
April	151.9	74.94	27.13	146.1	111.5	12836	12368	0.853
May	146.4	79.13	27.60	141.2	107.5	12445	12006	0.856
June	139.7	69.98	26.84	134.8	102.6	11909	11488	0.858
July	148.3	74.34	26.84	143.1	106.9	12639	12194	0.858
August	152.7	83.83	27.13	147.3	112.3	13013	12552	0.858
September	154.6	85.97	27.03	149.0	113.8	13160	12685	0.857
October	172.3	98.30	27.69	166.0	126.8	14621	14092	0.855
November	150.6	93.48	27.06	144.9	110.4	12811	12361	0.858
December	146.1	88.98	27.09	140.6	107.0	12407	11968	0.857
Year	1824.9	995.14	27.11	1758.0	1340.0	154965	149395	0.856

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T_Amb Ambient Temperature
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

Dalam perancangan sistem PLTS Atap On-Grid pada Gudang C ini, diperlukan *Single Line Diagram* untuk mengidentifikasi konfigurasi sistem kelistrikan serta besarnya kapasitas beban yang ada pada Gudang C. Informasi tersebut menjadi dasar berapa banyak jumlah PV dan inverter yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan beban listrik, dengan tetap mempertimbangkan kondisi struktur bangunan serta luas area atap yang tersedia atau daya dukung struktur atap gedung yang dapat dimanfaatkan untuk pemasangan PV. *Single Line Diagram* sistem PLTS atap gudang C dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Single Line Diagram PLTS On Grid Gudang C

Tabel 2 Daftar Beban Gudang C

Daftar Breaker di Area Silo dan Gudang				
No	Peralatan	Daya (kW)	Peralatan	Daya (kW)
Bus A			Bus B	
1	Welding Recept	45	CU 1B	75
2	Light Panel	20	CU 2B	75
3	Ctrl Dist Board	20	Blower 1B	37
4	DJU	2.2	Blower 2B	37
5	Dist Box A	2.2	Fan Silo B	7.5
6	Heater 2A	19	Fan Silo B (small)	2.2
7	Exhaust Fan	1.1	Exhaust Fan	1.1
8	Fan Silo A (small)	2.2	Heater 2B	19
9	Fan Silo A	7.5	Dist Box B	2.2

10	Blower 2A	37	DJU	2.2
11	Blower 1A	37	Ctrl Dist Board	20
12	CU 2A	75	Light Panel	20
13	CU 1A	75	Welding Recept	45
14	Heater 1A	19	COV 7	0.55
15	Heater 3A	22	COV 8	0.55
16	Heater 4A	22	COV 9	0.55
17	Aeration 3A	11	COV 10	0.55
18	Aeration 4A	11	COV 11	0.55
19	FA Con A	22	COV 12	0.55
20	Chain Con A	0	Heater 1B	19
21	COV 1	0.55	Heater 3B	22
22	COV 2	0.55	Heater 4B	22
23	COV 3	0.55	Aeration 3B	11
24	COV 4	0.55	Aeration 4B	11
25	COV 5	0.55	FA Con B	22
26	COV 6	0.55	Chain Con B	0
27	Spare 1	1.1	Spare	11
28	Spare 2	75		
29	Spare 3	1.1		
30	Spare 4	0.12		
Total		530,82	Total	464,5

Berdasarkan *single line diagram* pada Gambar 1 di atas, rencana integrasi sistem PLTS atap dilakukan pada bus B yang melayani total beban listrik sebesar 464.5 kW. Pemilihan titik interkoneksi tersebut didasarkan pada konfigurasi sistem distribusi eksisting sehingga energi yang dihasilkan PLTS dapat disalurkan secara optimal ke beban pada gudang C. Selanjutnya, dengan mengacu pada hasil perancangan menggunakan software PVsyst, ditentukan jumlah modul PV dan inverter yang sesuai dengan kebutuhan sistem serta ketersediaan area atap. Berdasarkan konfigurasi tersebut, kemudian dilakukan perhitungan kapasitas total sistem PLTS yang akan dipasang pada atap gudang C.

Adapun untuk perhitungan dapat dihitung dengan rincian sebagai berikut:

Kebutuhan Kapasitas Sistem (kWh/hari)

$$E \text{ harian} = 464,5 \times 24 = 11.148 \text{ kWh/hari}$$

Kebutuhan Modul PV

$$\text{Kapasitas PV (kWp)} = \frac{464,5 \text{ (kWh)}}{4,82 \times 0,8} = 120,46 \text{ kWp}$$

$$\text{Jumlah modul yang dibutuhkan} = \frac{120,46 \text{ kWp}}{0,54 \text{ kWp}} = 223,1$$

Estimasi Kebutuhan Area Atap

Berdasarkan datasheet JA Solar Mono 540 Wp pada sub bab 3.2.7, dimensi satu modul adalah 2,27 m x 1,13 m = 2,58 m². Sehingga :

$$\text{Luas Netto Panel} = 240 \text{ modul} \times 2,58 \text{ m}^2$$

$$= 619,2 \text{ m}^2 \approx 620 \text{ m}^2$$

Nilai 620 m² masih berada dalam batas luas atap efektif sebesar 790 m², dengan sisa ruang sebesar 170 m² yang dimanfaatkan untuk *row spacing* antar baris modul guna menghindari *inter-row shading*, jalur kabel, serta peletakan *combiner box*.

Kapasitas Inverter

$$\begin{aligned} \frac{DC}{AC} \text{ Ratio} &= \frac{120,46}{110} = 1,095 \\ \text{Kapasitas Inverter} &= \frac{120,46}{1,095} = 110 \text{ kW AC} \end{aligned}$$

Persentase kontribusi PLTS Atap On-Grid untuk Bus B

$$\% \text{ Kontribusi PLTS} = \frac{464,5 \text{ kWh}}{11.148,5 \text{ kWh}} \times 100\% = 4,167 \%$$

Dalam perancangan ini diasumsikan bahwa total beban sebesar 464,5 kW beroperasi secara kontinu selama 24 jam per hari. Oleh karena itu, kebutuhan energi harian gedung dihitung sebesar 11.148 kWh/hari. Asumsi ini digunakan untuk memperoleh estimasi kebutuhan energi maksimum (*worst-case scenario*) dalam perancangan sistem PLTS.

Konfigurasi String Modul Surya

Berdasarkan sub bab 3.2.7 *datasheet* JA Solar Mono 540 Wp ($V_{oc} = 49,89 \text{ V}$, $V_{mpp} = 41,73 \text{ V}$, $I_{sc} = 13,87 \text{ A}$) dan inverter Solis-110K-5G ($V_{in \text{ max}} = 1100 \text{ V}$, *Max. input current* per MPPT = 26 A, jumlah MPPT = 10):

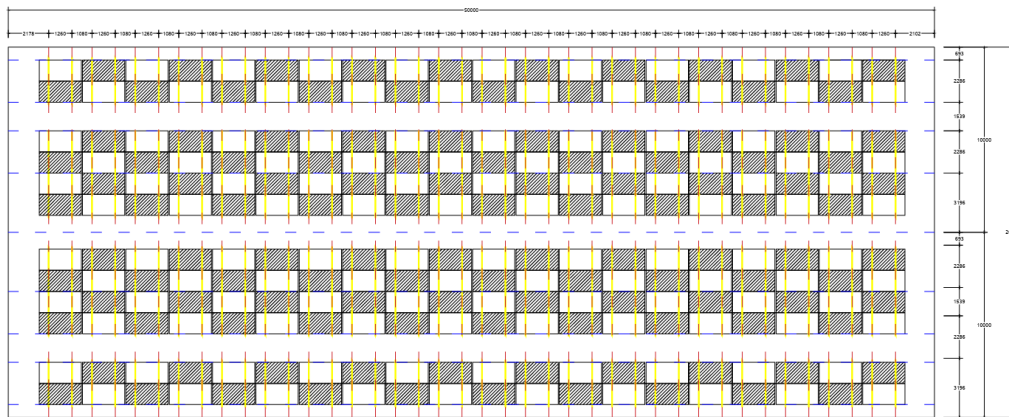
$$\begin{aligned} N_s &= \frac{1100}{49,89} = 22,05 \approx 20 \text{ Modul per string} \\ V_{oc, \text{string}} &= 20 \times 49,89 \text{ V} = 997,8 \text{ V} \\ V_{mpp, \text{string}} &= 20 \times 41,73 \text{ V} = 834,6 \text{ V} \\ N_{\text{string}} &= \frac{240}{20} = 12 \\ \text{Total Kapasitas} &= 240 \times 540 = 129.600 \approx 129,6 \text{ kWp} \end{aligned}$$

Dengan 10 MPP *Tracker* pada inverter Solis-110K-5G dan maksimal 20 *string input*, maka 12 *string* dibagi menjadi 8 MPPT Tunggal dan 2 MPPT paralel. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kebutuhan modul sebanyak 223 unit. Namun, jumlah tersebut tidak memenuhi konfigurasi *string* yang optimal pada inverter Solis-110K-5G. Oleh karena itu, jumlah modul disesuaikan menjadi 240 unit agar konfigurasi *string* dapat dibagi secara merata. Dengan menggunakan 240 modul, sistem dirancang menjadi 12 *string*, masing-masing terdiri dari 20 modul, sehingga sesuai dengan rentang tegangan kerja inverter.

Pada inverter Solis-110K-5G yang memiliki 10 MPPT dan 20 input *string*, konfigurasi tersebut dapat dibagi menjadi 8 MPPT yang masing-masing menerima 1 *string* dan 2 MPPT yang masing-masing menerima 2 *string* (paralel). Konfigurasi ini menghasilkan distribusi daya yang seimbang, mempermudah instalasi, dan memungkinkan inverter bekerja lebih optimal.

$$\begin{aligned} I_{sc} &= 13,87 \text{ A} \\ I_{sc, \text{total}} &= 2 \times 13,87 \text{ A} = 27,74 \text{ A (Paralel)} \end{aligned}$$

Nilai 27,74 A sedikit melebihi *rating Max. input current* per MPPT (26 A), namun masih dalam batas arus hubung singkat inverter sebesar 40 A / MPPT, dan masih memenuhi spesifikasi inverter sehingga aman dari sisi proteksi dan pada kondisi operasi aktual nilai I_{sc} di lapangan umumnya lebih rendah daripada nilai STC akibat faktor temperatur dan iradiasi, sehingga konfigurasi ini masih dapat diterima dengan toleransi *derating* yang wajar, dan masih aman untuk instalasi. Adapun konfigurasi untuk penempatan dan posisi PV *module* pada atap gedung lebih detailnya, dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 2 Konfigurasi String Modul Surya

Analisis dengan Software PVsyst

Setelah dilakukan perhitungan manual dan diperoleh konfigurasi *string* yang sesuai dengan spesifikasi modul PV serta inverter, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst. Simulasi ini bertujuan untuk memvalidasi dan membandingkan hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi perangkat lunak. Dengan demikian, PVsyst digunakan sebagai alat verifikasi terhadap konfigurasi sistem dan estimasi kinerja PLTS Atap On-Grid pada gudang C yang telah ditentukan sebelumnya.

Estimasi Energi yang diproduksi PLTS

$$\text{Estimasi Energi} = \frac{464,5}{5,45} \times 4,82 \times 365 \text{ hari} = 149.944 \text{ kWh/tahun}$$

Proteksi untuk Sistem Kelistrikan DC

Sistem kelistrikan DC dimulai dari panel surya hingga inverter Solis-110K-5G. Sistem kelistrikan DC berada di luar ruangan dan di atas bangunan yang terekspos langsung ke lingkungan, sehingga diperlukan proteksi tambahan berupa *Surge Protection Device* (SPD) untuk mencegah lonjakan tegangan akibat sambaran petir.

Jika mengacu dari *Single Line Diagram* pada Gambar 1 di atas, digunakan 2 unit DC *Surge Protective Device* (SPD) dan 2 unit *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB) DC untuk melindungi peralatan dari surja petir maupun surja hubung, untuk menentukan rating tegangan dan arus proteksi pada masing-masing string, digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_n &= 1,2 \times (V_{oc} \times \text{Jumlah modul seri}) \\ &= 1,2 \times 49,89 \text{ V} \times 20 \\ &= 1.197,4 \text{ V} \\ I_n &= 1,4 \times I_{sc} \\ &= 1,4 \times 13,87 \text{ A} \\ &= 19,42 \text{ A} \end{aligned}$$

Keterangan:

1,2 = Nilai koefisien rating tegangan

1,4 = Nilai koefisien rating arus

I_{sc} = Short Circuit Current (A)

V_{oc} = Open Circuit Voltage (V)

Untuk menentukan kabel yang digunakan sebagai utilitas distribusi daya DC, digunakan persamaan berikut:

$$I_{KHA} = I_n \times 1,25$$

$$\begin{aligned}
 &= 19,42 \text{ A} \times 1,25 \\
 &= 24,28 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

I_{KHA} = Kemampuan Hantar Arus (A)

I_n = Rating Arus (A)

Sesuai dengan *Single Line Diagram*, Kabel DC yang digunakan adalah Kabel JJ-LAPP DC Cable, kabel ini merupakan salah satu merk kabel premium khusus untuk industri dan solar, dengan luas penampang 4 mm² dan konduktornya berupa serabut tembaga yang dilapisi timah. Untuk isolasi (XLPO) menggunakan material isolasi khusus yang disinari elektron sehingga memiliki ikatan molekul yang sangat kuat dan merupakan isolasi yang dirancang khusus untuk aplikasi PV *outdoor* dengan ketahanan terhadap radiasi UV dan suhu tinggi, serta tahan korosi.

Proteksi Sistem Kelistrikan AC

Sistem kelistrikan AC pada PLTS menggunakan Modul *Case Circuit Breaker* (MCCB) 3-Phase sebagai pengaman utama pada sisi keluaran AC inverter sebelum terhubung ke panel distribusi Gudang C. Berdasarkan *rated grid output current* inverter Solis-110K-5G sebesar 167,1 A, maka *rating breaker* pada sisi AC dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 ICB &= I_n \times 1,25 \\
 &= 167,1 \text{ A} \times 1,25 \\
 &= 208,9 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan *Single Line Diagram*, digunakan 3 unit MCCB 3-Phase dengan *rating* yang disesuaikan terhadap hasil perhitungan di atas (mendekati 200-250 A), ditempatkan pada *Panel Box Utama Outdoor* dengan tingkat proteksi IP65 yang sesuai untuk instalasi di lingkungan *outdoor* kawasan industri PLTU UBP Suralaya. Kemudian untuk jenis kabel yang digunakan yaitu jenis kabel NYY AC Cable digunakan untuk menyalurkan daya AC 3-Phase berkapasitas besar dari *output* inverter. Untuk kabel ini juga memiliki 4 inti utama (Fasa R, S, T, dan Netral) dengan luas penampang masing - masing 95 mm². Adapun kelebihan kabel ini dirancang khusus agar tahan terhadap kelembaban tanah, zat kimia tanah, dan air. Kabel ini juga sangat aman jika ditanam langsung di dalam tanah (dengan pelindung tambahan seperti pasir/bata) maupun dalam pipa conduit bawah tanah.

Sistem Pembumian (*Grounding*)

Sistem pembumian pada sistem PLTS mengacu kepada standar SNI 0225 tentang Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), yang mengatur sistem pembumian dimana besaran tahanan harus kurang dari atau sama dengan 5 ohm dan pengukuran tahanan harus menggunakan *megger* atau *earth tester*. Sistem *grounding* menggunakan *Grounding Rod Copperclad* dan BC Cable (*Bare Copper Cable*) sebagai penghantar arus bocor atau gangguan menuju tanah. Kelebihan kabel ini yaitu sangat cocok untuk menahan tarikan mekanis di atap dan memiliki kapasitas yang cukup mengalirkan arus sambaran petir tidak langsung dari *frame* panel surya menuju titik bumi tanpa meleleh. Sistem ini diaplikasikan baik pada sisi DC (rangka *mounting* modul surya) maupun sisi AC (Panel Box Utama), untuk melindungi peralatan dan personel dari risiko sengatan listrik akibat kebocoran isolasi. Untuk hasil pengukuran yang sudah didapat yaitu sebesar 3 ohm yang mana sudah sangat memenuhi standar yang ditetapkan.

Jalur Kabel dan Cable Tray

Untuk merapikan jalur kabel DC dari modul surya menuju Panel Box Utama, digunakan *Cable Tray* Aluminium Galvanis sepanjang 60 meter beserta aksesorisnya. Cable tray ini berfungsi melindungi kabel dari kerusakan mekanis serta memudahkan kegiatan inspeksi dan pemeliharaan jalur kabel pada area atap Gudang C.

Secara keseluruhan, sistem proteksi yang sudah dibuat untuk Opsi 1 (SPD, MCCB, *grounding*, dan *cable tray*) telah memenuhi prinsip dasar proteksi sistem PLTS Atap *On-Grid* sebagaimana dijelaskan pada landasan teori bab 2, yaitu proteksi terhadap *overcurrent*, *overvoltage* (surja petir), dan *grounding* untuk

keselamatan manusia dan peralatan, sejalan dengan ketentuan prosedur integrasi sistem ke jaringan pada Permen ESDM No. 2 Tahun 2024.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data yang sudah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kelayakan struktur dan desain sistem PLTS

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur atap Gudang C layak digunakan sebagai lokasi pemasangan PLTS Atap *On-Grid* setelah dilakukan evaluasi pembebanan terhadap struktur eksisting. Luas atap efektif sebesar 790 m² mampu menampung 240 modul JA Solar 540 Wp dengan kapasitas total 129,6 kWp. Konfigurasi pemasangan menggunakan dua orientasi dengan kemiringan 20° menghasilkan pemanfaatan area atap yang optimal serta meminimalkan potensi kehilangan energi akibat orientasi bangunan.

2. Kinerja teknis sistem PLTS

Berdasarkan simulasi menggunakan PVsyst, sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik sebesar sekitar 149.395 kWh per tahun dengan produksi spesifik sekitar 1.153 kWh/kWp/tahun. Sistem *On-Grid* yang dirancang menggunakan inverter Solis 110 kW beserta sistem proteksi sesuai standar memberikan operasi yang aman, andal, dan memenuhi kebutuhan integrasi dengan jaringan PLN sehingga mampu menurunkan konsumsi energi listrik dari jaringan utilitas.

3. Pengaruh faktor *soiling* terhadap performa PLTS

Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa akumulasi debu (*soiling*) memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap produksi energi. Rata-rata peningkatan daya akibat *soiling* mencapai 22,57%, sedangkan perbedaan tingkat iradiasi pada saat pengujian relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan industri PLTU memiliki tingkat partikulat yang tinggi sehingga kegiatan pembersihan panel surya menjadi faktor penting dalam menjaga performa sistem.

4. Kelayakan ekonomi dan manfaat lingkungan

Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa investasi PLTS Atap Gudang C layak untuk direalisasikan. Nilai NPV bernilai positif, *Profitability Index* lebih besar dari 1, IRR jauh melebihi tingkat diskonto, serta *Discounted Payback Period* kurang dari umur ekonomis sistem, sehingga investasi dinilai menguntungkan. Selain memberikan penghematan biaya listrik, sistem ini juga berpotensi menurunkan emisi karbon sekitar 117,57 ton CO₂ per tahun atau sekitar 2.765,26 ton CO₂ selama umur operasi proyek, sehingga mendukung target transisi energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca.

REFERENSI

- 1 D.K.R. Pamungkas dan S.D.A. Febriani, “PERHITUNGAN VOLTAGE DROP UNTUK PENENTUAN PENGGUNAAN KABEL DC PADA PLTS ROOFTOP 1,7 MWp DI PT PANVERTA CAKRAKENCANA, “*Jinggo: Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi, dan Otomotif*, vol.2, Mar 2024.
- 2 Badan Standarisasi Nasional, *SNI 8395:2017 – Panduan Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik*, Jakarta:BSN,2017.
- 3 PT Indo Tenaga Hijau, “PROJECT IDENTIFICATION AND PRELIMINARIES STUDY Pengembangan PLTS Rooftop di Lingkungan PT Indonesia Power UP Suralaya PT INDO TENAGA HIJAU,” 2020.
4. A. E. Setyono dan B. F. T. Kiono, “Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, hlm. 154–162, Okt 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
5. Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (DJ EBTKE) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) Republik Indonesia, “Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts,” Jakarta, 2018.
6. S. W. Shokooh, J. J. Dai, S. Shokooh, J. Tasman, dan H. S. Pasia, “Design and Protection of Grid-Connected Photovoltaic Power Plants,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 48, no. 3, hlm. 915–923, Mei 2012, doi: 10.1109/TIA.2012.2190821.
7. W. Utomo dan S. Supriyadi, “Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang Terinterkoneksi dengan Jaringan Distribusi PLN,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, hlm. 78–85, Des 2013, doi: 10.15294/jte.v5i2.3561.
8. B. Ismail dan A. Purwanto, “Perencanaan Sistem Proteksi Petir dan *Grounding* pada Instalasi Panel Surya Atap Gedung Bertingkat,” *Jurnal Tekno*, vol. 11, no. 1, hlm. 45–53, Mar 2014, doi: 10.21831/tekno.v11i1.4123.
9. I. N. S. Kumara, “Perkembangan Keadaan Terkini dan Tantangan Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terhubung pada Jaringan Distribusi Listrik di Indonesia,” *Teknologi Elektro*, vol. 9, no. 1, hlm. 22–31, Jun 2010, doi: 10.24843/TE.2010.v09.i01.p04.
10. M. S. El-Nozahy dan T. A. Salama, “A Technical Review of Photovoltaic Inverter Anti-Islanding Detection Methods for Grid-Connected Systems,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 53, hlm. 950–958, Des 2013, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.06.015.