

Optimasi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap On-Grid Melalui Simulasi PVsyst

Slamet Nurhadi^{a*)}, Priya Surya Harijanto^{a)}, Mochamad Ferdy Hamzah^{a)}

(Received 28 Agustus 2025 || Revised 20 October 2025 || Published 23 Desember 2025)

Abstract: This study addressed the critical issue of Indonesia's persistent dependence on fossil fuels and the urgent need to accelerate New and Renewable Energy (NRE) adoption. The purpose of the research was to develop a comprehensive technical plan for a 1.202 kWp grid-tied rooftop photovoltaic (PV) system at a manufacturing facility in Karawang. The methodology employed a systematic approach consisting of site surveys, electrical configuration design (stringing, cabling, and protection systems compliant with PUIL 2020), and verification through PVsyst simulation software. Important findings revealed that the designed system projected an annual energy yield of 1,624,801 kWh with a Performance Ratio (PR) of 76.1%. The implications of this research suggested that the proposed rooftop PV system is technically robust and provides significant economic and environmental benefits, including an estimated annual revenue of IDR 1.68 billion and a reduction of 1,348.58 tons of CO₂ emissions. These results demonstrated that large-scale industrial rooftop PV systems are a viable solution for achieving national energy transition goals.

Keywords: On-Grid Rooftop Solar Power Plant, PVsyst and Renewable Energy.

1. Pendahuluan

Sumber energi Indonesia saat ini masih bergantung pada pemanfaatan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Karena ketergantungan inilah yang memacu perkembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai sumber energi utama [1]. Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan potensi pemanfaatan sumber energi terbarukan yang besar seperti energi surya [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan energi surya. Dengan adanya PLTS maka akan membantu merealisasikan target pemerintah perihal bauran EBT pada tahun 2025 yaitu sebesar 23% [3]. Berdasarkan teknologi yang digunakan PLTS dibagi menjadi dua yaitu PLTS *On-Grid* (*Grid Connection*) dan PLTS *Off-Grid* (*Stand Alone*) [4]. Berdasarkan mekanisme penyaluran energi Listriknya, sistem *On-Grid* dapat dibagi bagi menjadi dua yaitu *with a battery back up* dan *without a battery back up*, komponen utama dari sistem *On Grid* ini antara lain modul pv, Inverter, ac combiner dan grounding [5], [6]. Modul PV memiliki beberapa jenis salah satunya yaitu *monocrystalline* yang terbuat dari irisan tipis batangan kristal silikon murni dan memiliki nilai efisiensi sekitar 15-20% [7]. Inverter memiliki dua jenis yaitu inverter jaringan dan inverter baterai. Inverter jaringan berfungsi untuk mengkonversi daya listrik DC menjadi AC menuju beban secara langsung. Komponen yang ada pada panel AC *Combiner* ini biasanya busbar *interconnection*, penghantar dan *breaker incoming*, penghantar dan *Breaker Outgoing*, *Energy Meter*, *Current Tranasformer*, *Fuse*, *SPD* dan *Grounding Bar* [8].

Pada PLTS *On Grid* terdapat DC/AC ratio yang merupakan perbandingan dari daya DC modul PV dengan daya AC inverter. DC/AC ratio yang bagus yaitu sekitar 1,25 karena dapat menyeimbangkan antara peningkatan produksi dan minimalisasi kerugian energi [9]. Selain itu juga terdapat *Performance Ratio* yang merupakan perbandingan jumlah energi listrik aktual yang dihasilkan sistem dengan potensi energi teoretis yang seharusnya bisa dipanen dari total radiasi matahari yang diterima. umum untuk PLTS skala besar adalah 70% hingga 80% [10].

Penelitian oleh Burhandono [11] berfokus pada perencanaan PLTS, namun tidak menggunakan simulasi perangkat lunak dan tidak menyertakan DED, sehingga akurasi hasil perencanaannya

kurang karena tidak memperhitungkan faktor-faktor penting seperti azimuth, tilt, dan berbagai kerugian sistem. Studi oleh Karuniawan [12] sudah menggunakan PVsyst untuk simulasi, tetapi hanya membuat layout 2D. Ketiadaan desain 3D mengurangi keakuratan simulasi karena tidak dapat menganalisis kerugian akibat bayangan dari objek sekitar. Penelitian Harmiansyah [13] telah menyertakan desain 2D dan 3D serta *Single Line Diagram* (SLD). Namun, SLD yang disajikan tidak merinci spesifikasi penghantar (kabel) yang digunakan dalam sistem. Studi oleh Sayoga [14] telah membahas pemilihan sistem pengkabelan AC dan DC. Akan tetapi, penelitian tersebut tidak mencakup perhitungan dan pemilihan sistem proteksi, yang merupakan elemen krusial untuk melengkapi akurasi SLD dan keseluruhan rancangan sistem

Karawang merupakan salah satu kawasan industri di Jawa Barat, karena merupakan kawasan industri maka keterbatasan tempat menjadi alasan perencanaan PLTS *On-Grid* ini dilakukan dengan basis Atap sebagai tempat instalasi modul PV sedangkan untuk pemilihan sistem *On-Grid* ini didasari oleh tempat penelitian yang merupakan sebuah perusahaan manufaktur yang pemakaian energi listriknya lebih dominan di pagi, siang dan sore hari. Selain itu diharapkan dengan perencanaan PLTS Atap *On-Grid* ini akan dapat berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon di Indonesia serta perusahaan mendapatkan penghasilan pertahunnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekurangan dari beberapa penelitian terdahulu serta untuk mendapatkan detail perencanaan PLTS Atap *On Grid* di perusahaan manufaktur karawang yang mencakup beberapa hal yaitu penentuan konfigurasi modul PV untuk sistem PLTS Atap *On Grid*, penentuan instalasi PLTS Atap *On Grid* (sistem pengkabelan, sistem proteksi dan penyusunan *Detail Engineering Design* menggunakan software *AutoCAD* dan *SketchUP*) dan mendapatkan hasil proyeksi daya output sistem menggunakan Sftware PVsyst tersebut. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat berkontribusi secara nyata dalam perkembangan renewable energy di indonesia sebagai referensi teknis perencanaan PLTS Atap *On Grid*.

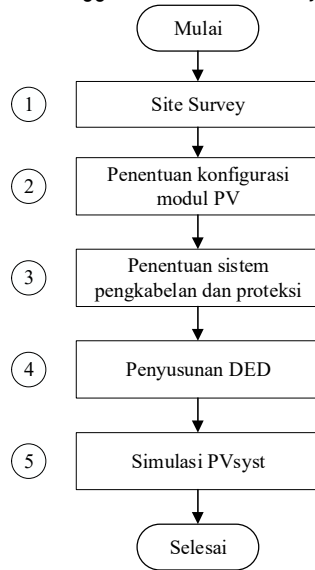
2. Metodologi

Keseluruhan penelitian dilakukan dengan mengikuti Langkah-langkah yang terdapat pada Gambar 2.1, diagram ini mencakup runtutan penelitian mulai dari survei lokasi, penentuan konfigurasi

*Korespondensi: slamet.nurhadi@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta no 9 , kota Malang, Jawa Timur

modul PV, penentuan sistem pengkabelan, penentuan sistem proteksi, penyusunan *Detail Engineering Design* (DED) hingga pensimulasian sistem menggunakan *software Pvsyst*.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

2.1 Hasil Site Survey

Sebelum melakukan perencanaan teknis PLTS Atap On Grid, terlebih dahulu mengambil data lapangan melalui survei lokasi secara langsung. Tabel 2.1 menunjukkan hasil survei lokasi di perusahaan manufaktur karawang. Tabel ini menjadi bahan awal perencanaan teknis PLTS Atap On Grid dilakukan.

TABEL 2.1 HASIL SITE SURVEY

Data	Hasil
Luas atap gedung A	55 meter x 133 meter
Luas atap gedung B	37 meter x 109,5 meter
Kemiringan atap (tilt)	16°
Azimuth	Azimuth 1: 286,8° (Barat) Azimuth 2: 106,8° (Timur)
Ketinggian bangunan	10 meter
Lebar skylight	1,05 meter
Jarak antar skylight	11,2 meter
Turbine ventilator	Ada
Tipe atap	Atap spandex Kombinasi L Feet dan Clip Lock

2.2 Spesifikasi Modul PV dan Inverter

Tabel 2.2 merupakan data spesifikasi modul PV yang digunakan untuk penentuan konfigurasi string.

TABEL 2.2 SPESIFIKASI MODUL PV

Spesifikasi Modul PV	
Maximum Power – Pmax [Wp]	610
Maximum Power Voltage – Vmp [V]	40,56
Maximum Power Current – Imp [A]	15,04
Open Circuit Voltage – Voc [V]	48,63
Short Circuit Current – Isc [A]	16,01

Tabel 2.3 menunjukkan data spesifikasi Inverter 50 kW yang digunakan untuk penentuan konfigurasi string.

TABEL 2.3 SPESIFIKASI INVERTER 50 kW

Input	
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1000 V
Number of Inputs	8
Number of MPP trackers	4
Output	
Rated AC Active Power	50.000 W
Rated Output Voltage	400 Vac
Max Output Current	79,8 A

Tabel 2.4 menunjukkan data spesifikasi Inverter 100 kW yang digunakan untuk penentuan konfigurasi string.

TABEL 2.4 SPESIFIKASI INVERTER 100 kW

Input	
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1000 V
Number of Inputs	10
Number of MPP trackers	2
Output	
Rated AC Active Power	100.000 W
Rated Output Voltage	400 Vac
Max Output Current	160,4 A

2.3 Perhitungan PLTS

Dalam perencanaan PLTS Atap On Grid ini perhitungan jumlah minimal modul PV untuk tiap input MPPT inverternya menggunakan Persamaan (2-1) dan jumlah maksimal menggunakan Persamaan (2-2).

$$\text{Jumlah PV min} = \frac{V_{\text{startup inverter}}}{V_{\text{oc PV}}} \quad (2-1)$$

$$\text{Jumlah PV maks} = \frac{V_{\text{max mpp inverter}} V_{\text{dc}}}{V_{\text{oc PV}}} \quad (2-2)$$

Selain itu juga dilakukan perhitungan DC/AC ratio untuk tiap Inverternya menggunakan Persamaan (2-3).

$$\text{DC/AC ratio} = \frac{\text{Daya total modul PV}}{\text{Daya output Inverter}} \quad (2-3)$$

Potensi penghasilan yang didapatkan Perusahaan pertahunnya dihitung menggunakan Persamaan (2-4).

$$\text{Penghasilan Tahunan} = \text{Produksi Energi PLTS} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{tahun}} \right) \times \text{Harga Listrik} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{kWh}} \right) \quad (2-4)$$

Untuk menghitung pengurangan emisi karbon, menggunakan Persamaan (2-5).

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan Emisi CO}_2 &= \text{Produksi Energi PLTS (MWh/tahun)} \times \\ &\text{Faktor Emisi Grid (ton CO}_2\text{/MWh)} \end{aligned} \quad (2-5)$$

2.4 Perhitungan Pengkabelan dan Proteksi

Berdasarkan standar SNI 0225-2:2020 (PUIL 2020) [15] bagian 2 poin 2.2.8.3, arus nominal pengenalan gawai proteksi arus lebih (GPAL) sekurang-kurangnya 110% - 115% arus pengenalan beban dan KHA kabel adalah 125% arus pengenalan beban penuh/maksimum. Sehingga perhitungan menggunakan Persamaan (2-6) untuk penghantar dan Persamaan (2-7) untuk breaker.

$$\text{KHA} = I_{\text{out maks}} \times 125 \% (\text{Factor Safety}) \quad (2-6)$$

$$\text{In Maks} = I_{\text{out maks}} \times 115 \% (\text{Factor Safety}) \quad (2-7)$$

Berdasarkan standard AS/NZS 3008.1.1:2009 [16] bagian 4 tentang drop tegangan, untuk menghitung drop tegangan pada konduktor *single phase* menggunakan Persamaan (2-8).

$$Vd = \frac{ILZc}{1000} \quad (2-8)$$

Keterangan, I = Arus yang melalui kabel (Ampere)
L = Panjang kabel (Meter)
Zc = Impedansi kabel (Ω/km)
Vd = Drop tegangan (Volt)

Berdasarkan PUIL 2011 [17] halaman 362 Tabel 54.3 MOD Luas penampang minimum konduktor proteksi diatur seperti tabel 2.5.

TABEL 2.5 LUAS PENAMPANG MINIMUM KONDUKTOR PROTEKSI

Luas penampang konduktor lin S mm ²	Luas penampang minimum konduktor proteksi terkait mm ²
	Jika konduktor proteksi berbahan sama seperti konduktor saluran
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan hasil keseluruhan perencanaan PLTS Atap On Grid di perusahaan manufaktur Karawang, mulai dari penentuan konfigurasi modul PV hingga pensimulasian sistem perencanaan menggunakan software Pvsyst.

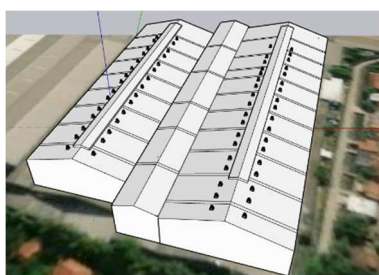
3.1 Perhitungan dan Penentuan Konfigurasi Modul PV

Perhitungan jumlah minimal dan maksimal modul pv untuk tiap input MPPT inverternya menggunakan Persamaan (2-1) dan (2-2), didapatkan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah PV min} = \frac{200 Vdc}{48.63 Vdc} = 4 \text{ modul PV}$$

$$\text{Jumlah PV maks} = \frac{950 Vdc}{48.63 Vdc} = 19 \text{ modul PV}$$

Kemudian dari data hasil site survei di Tabel 2.1 dibuat desain bangunan 3D seperti Gambar 3.1 menggunakan SketchUP, pembuatan desain 3D terlebih dahulu ini bertujuan supaya penentuan konfigurasi modul PV sesuai dengan luasan atap yang tersedia.

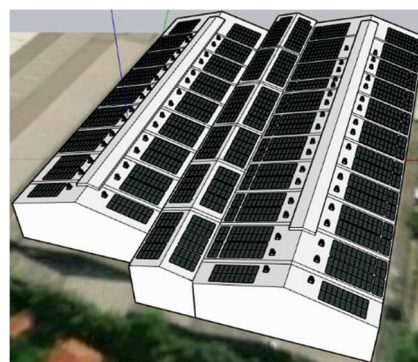


GAMBAR 3.1 DESAIN 3D BANGUNAN

Komponen utama pengkonfigurasi string adalah 1.970 buah modul PV 610 wp, 9 buah inverter 100 kw dan 1 buah inverter 50 kw. dihasilkan 113 string dengan 81 string konfigurasi 18 modul pv dan 32 string konfigurasi 16 modul pv. Dengan rincian seperti yang ditunjukkan Gambar 3.2. Sehingga dihasilkan layout dari modul PV di atap bangunan seperti Gambar 3.3. Dengan adanya desain 3D ini maka dapat menambah keakuratan perencanaan PLTS serta melengkapi kekurangan dari Studi yang dilakukan oleh Karuniawan [12].

TABEL 3.1 KONFIGURASI STRING

Inverter	String	MPPT Input	Konfigurasi (PV)	Vmp	imp	P (String) (KWP)
Inverter 1-8 100 kW	String 1	1	18	730,08	15,04	10,98
	String 2	2		730,08	15,04	10,98
	String 3			730,08	15,04	10,98
	String 4	3		730,08	15,04	10,98
	String 5	4		730,08	15,04	10,98
	String 6			730,08	15,04	10,98
	String 7	5	18	730,08	15,04	10,98
	String 8	6		730,08	15,04	10,98
	String 9	7		730,08	15,04	10,98
	String 10	8	16	648,96	15,04	9,76
	String 11	9		c	15,04	9,76
	String 12	10		648,96	15,04	9,76
	Total		210			128,1
Inverter 9 100 kW	String 1	1	18	730,08	15,04	10,98
	String 2	2		730,08	15,04	10,98
	String 3			730,08	15,04	10,98
	String 4	3		730,08	15,04	10,98
	String 5	4		730,08	15,04	10,98
	String 6	5		730,08	15,04	10,98
	String 7	6		730,08	15,04	10,98
	String 8	7		730,08	15,04	10,98
	String 9	8	16	730,08	15,04	10,98
	String 10	9		648,96	15,04	9,76
	String 11	10		648,96	15,04	9,76
	Total		194			118,3
Inverter 10 50 kW	String 1	1	16	648,96	15,04	9,76
	String 2	2		648,96	15,04	9,76
	String 3			648,96	15,04	9,76
	String 4	3		648,96	15,04	9,76
	String 5	4		648,96	15,04	9,76
	String 6			648,96	15,04	9,76
	Total		96			118,3
Total Daya DC Modul PV				1.202 kWp		



GAMBAR 3.2 LAYOUT 3D MODUL PV

Hasil konfigurasi string kemudian dihitung DC/AC rasionya, menggunakan Persamaan (2-3), dihasilkan:

$$DC/AC \text{ ratio} = \frac{128.1 \text{ kWp}}{100 \text{ kW}} = 1,281 \text{ (Inverter 1 – 8)}$$

$$DC/AC \text{ ratio} = \frac{118.34 \text{ kWp}}{100 \text{ kW}} = 1,1834 \text{ (Inverter 9)}$$

$$DC/AC \text{ ratio} = \frac{58.56 \text{ kWp}}{50 \text{ kW}} = 1,1712 \text{ (Inverter 10)}$$

3.2 Perhitungan Penghantar dan Breaker

A. Penentuan Penghantar

Penghantar dihitung menggunakan Persamaan (2-6). KHA penghantar Modul PV adalah:

$$KHA = 16.01 \times 125\% = 20.0124 \text{ A}$$

Berdasarkan katalog Solar Cable Supreme, dapat digunakan solar cable 1,5 mm² dengan KHA 30 A. Namun berdasarkan manual book dari Inverter 100kW dan 50 kW, Rentang pemilihan kabel modul PV untuk input Inverter antara 4 - 6 mm² serta pertimbangan adanya drop tegangan. Sesuai standar AS/NZS 5033:2014, drop tegangan minimum yang diperbolehkan untuk kabel PV terpanjang sebesar 3%. Sehingga dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan (2-8).

$$Vd(4\text{mm}^2) = \frac{16.01 \times 150 \times 2 \times 5.09}{1000} = 24.4 \text{ Volt}$$

$$Vd(6\text{mm}^2) = \frac{16.01 \times 150 \times 2 \times 3.39}{1000} = 16.28 \text{ Volt}$$

$$\%Vdrop = \frac{Vd}{V_{mp} \times Nb.PV \text{ per String}} \times 100\%$$

$$\%Vdrop(4\text{mm}^2) = \frac{24.2}{40.56 \times 18} \times 100\% = 3.34\%$$

$$\%Vdrop(6\text{mm}^2) = \frac{16.28}{40.56 \times 18} \times 100\% = 2.23\%$$

Berdasarkan perhitungan, untuk kabel modul PV keseluruhan menggunakan kabel Supreme Solar Cable 1 x 6 mm² dengan drop tegangan 2.23% < 3%. Berdasarkan Tabel 2.2 maka kabel grounding modul PV menggunakan Supreme NYA 1 x 6 mm².

KHA penghantar *Output Inverter* adalah:

$$KHA (\text{inverter } 100 \text{ kw}) = 160,4 \times 125\% = 200,5 \text{ A}$$

Sehingga pada tiap output inverter 100 kW digunakan kabel NYY 4 x 95 mm² dengan KHA 245 A serta kabel grounding menggunakan Supreme NYA 1 x 50 mm².

$$KHA (\text{inverter } 50 \text{ kw}) = 79,8 \times 125\% = 99,75 \text{ A}$$

Sehingga pada output inverter 50 kW digunakan kabel NYY 4 x 25 mm² dengan KHA 105 A serta kabel grounding menggunakan Supreme NYA 1 x 50 mm².

KHA penghantar *Output AC Combiner* adalah:

$$\text{Akumulasi arus output maks dari 10 Inverter} = (160,4 \times 9) + 79.8 = 1523,4 \text{ A}$$

$$KHA = 1523,4 \times 125\% = 1.904,25 \text{ A}$$

Sehingga pada output AC Combiner digunakan kabel NYY 4x(3x(1x300 mm²)) dengan KHA 2040 A.

B. Penentuan Breaker

Perhitungan *Breaker* dilakukan menggunakan Persamaan (2-7).

a. Fuse Output Modul PV

Diketahui I_{sc} Modul PV = 16,01 A dan V_{oc} Modul PV = 48,63 V. Karena dalam 1 string terdapat 18 dan 16 modul PV maka akumulasi v_{oc} dari tiap string-nya adalah V_{oc} 18 Modul PV = 875,34 V dan V_{oc} 16 modul PV = 778,08 V. Sehingga dipilih DC Fuse Suntree model SGR dengan spesifikasi rated current 20 A dan rated voltage 1000 V 1P. pemilihan ini mencakup fuse cartridge dan fuse basenya, tiap stringnya menggunakan 2 fuse (untuk positif dan negatif), pemilihan ini sudah sesuai rating rekomendasi dari Inverter.

b. Breaker Output Inverter

Nilai I_{nom} inverter adalah:

$$In (\text{Inverter } 100 \text{ kw}) = 160,4 \times 115\% = 184,46 \text{ A}$$

Sehingga untuk tiap output Inverter 100 kW digunakan MCCB Schneider NSX250F 4 Pole yang dilengkapi MicroLogic 2.2 tipe proteksi LSol (*Long time, short time (time delay cannot be adjusted) and instantaneous*) dengan setting I_o 200 A.

$$In (\text{Inverter } 50 \text{ kw}) = 79.8 \times 115\% = 91,77 \text{ A}$$

Sehingga untuk output Inverter 50 kW digunakan MCCB Schneider NSX100F 4 Pole yang dilengkapi MicroLogic 2.2 tipe proteksi LSol (*Long time, short time (time delay cannot be adjusted) and instantaneous*) dengan rating I_n trip-unit 100 A.

c. Breaker Output AC Combiner

$$\text{Akumulasi arus output maks dari 10 Inverter} = (160,4 \times 9) + 79.8 = 1523,4 \text{ A}$$

$$In = 1523,4 \times 115\% = 1.751,91 \text{ A}$$

Sehingga untuk output AC Combiner menuju ke tapping grid digunakan ACB MTZ220H1, Micrologic 5.0 tipe Drawout dengan rating in 2000A.

C. Koordinasi Penghantar Dengan Gawai Proteksi

Berdasarkan standar SNI 0225-1:2020 (PUIL 2020) bab 433.1 tentang Koordinasi antara konduktor dan gawai proteksi beban lebih. Karakteristik operasi gawai yang memproteksi terhadap beban lebih harus memenuhi dua kondisi berikut:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

Keterangan, I_B = Arus nominal

I_N = Arus pengenal gawai proteksi

I_Z = KHA kabel

TABEL 3. 2 KOORDINASI ANTARA KONDUKTOR DAN GAWAI PROTEKSI

	I_B (A)	I_N (A)	I_Z (A)	$I_B \leq I_N \leq I_Z$
Input Inverter	16.01	-	70	✓
Output Inverter 50kW	79.8	100	105	✓
Output Inverter 100kW	160,4	200	245	✓
Output AC Combiner	1523,4	2000	2040	✓

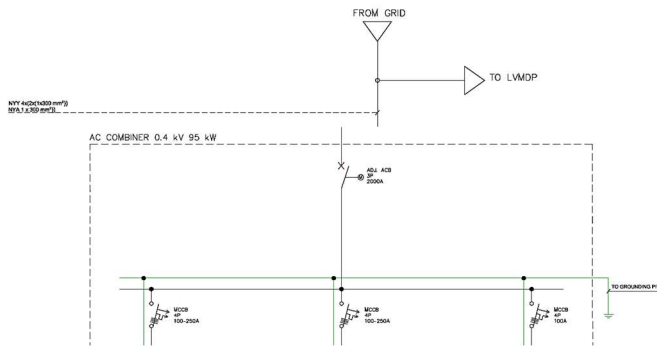
Dari perencanaan penghantar dan proteksi yang telah dilakukan, sudah memenuhi standar sesuai SNI 0225-1:2020 (PUIL 2020).

3.3 Detail Engineering Design (DED)

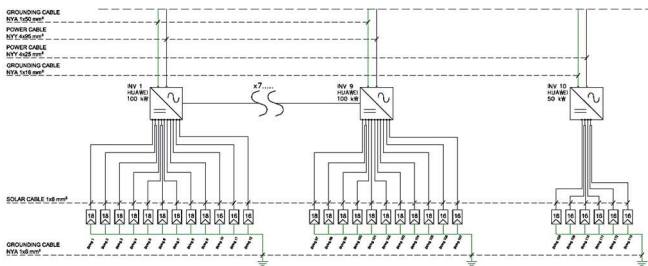
Penyusunan DED bertujuan sebagai prototipe awal perencanaan dan sebagai pelengkap perencanaan. Dengan adanya DED ini, maka dapat melengkapi kekurangan dari penelitian yang dilakukan oleh Harmiansyah [13] dan Sayoga [14].

a. Single Line Diagram

Penentuan konfigurasi string, penghantar dan proteksi menghasilkan SLD seperti Gambar 3.3A yaitu SLD sistem AC dan Gambar 3.3D berupa SLD sistem DC.



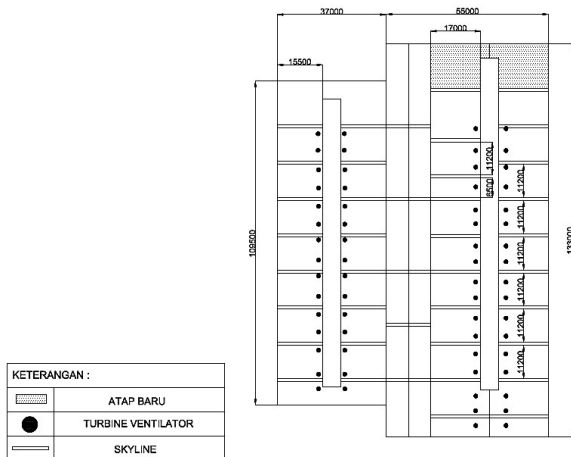
GAMBAR 3.3A SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM AC



GAMBAR 3.4B SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM DC

b. Layout Bangunan

Penentuan konfigurasi modul PV disesuaikan dengan layout bangunan, sehingga dibuat layout bangunan 2D sebagai acuan awal.



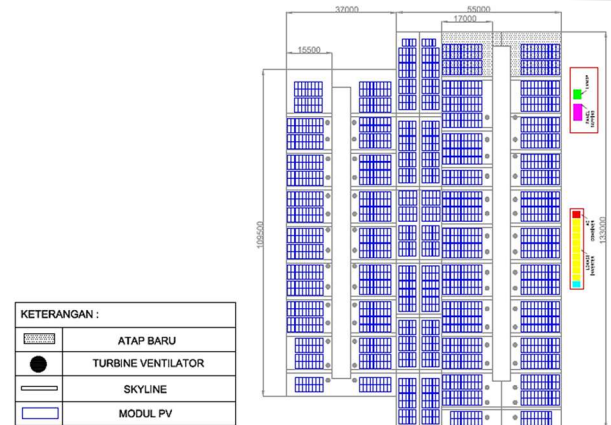
GAMBAR 3.5 LAYOUT 2D BANGUNAN

c. Layout Modul PV

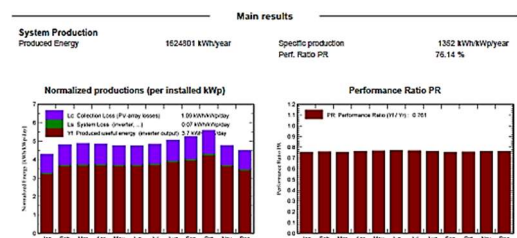
Layout modul PV menunjukkan penempatan dari konfigurasi string yang sudah ditentukan pada atap gedung seperti ditunjukkan di Gambar 3.5.

3.4 Simulasi PVSyst

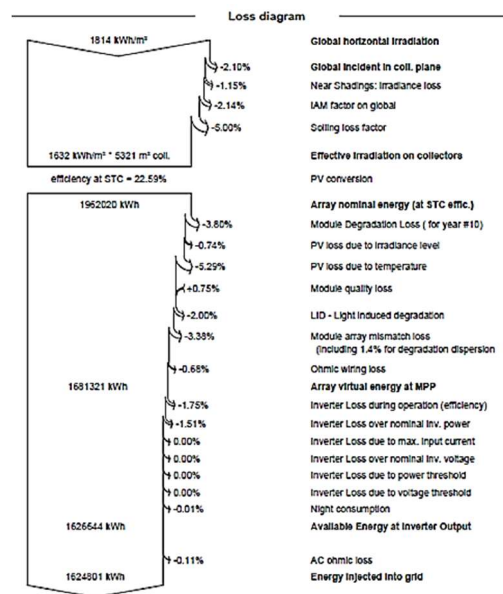
Hasil dari perencanaan kemudian disimulasikan menggunakan software Pvsyst, didapatkan hasil Seperti pada Gambar 3.6. Hasil simulasi sistem menunjukkan energi pertahun yang dihasilkan sebesar 1.624.801 kWh/year, spesifik produksi 1.352kWh/kWp/year, spesifik produksi harian 3,7 kWh/kWp/day dan performance ratio sebesar 76,1%. Performance ratio dari sistem ini dikatakan di angka yang baik, rentang nilai PR yang umum untuk PLTS skala besar adalah antara 70% hingga 80%.



GAMBAR 3.6 LAYOUT 2D MODUL PV



GAMBAR 3.7 MAIN RESULT PVSYST



GAMBAR 3.8 LOSS DIAGRAM PVSYST

Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS akan dikurangi oleh *losses* yang ada pada sistem. *Losses* yang terjadi antara lain disebabkan oleh irradiasi matahari yang mengenai modul PV sesuai dengan tilt dan azimuthnya, faktor kekotoran pada permukaan modul PV, proses konversi irradiasi matahari menjadi energi listrik oleh modul PV, *losses* dari modul PV itu sendiri (*module quality*, *LID dll*), *losses* dari inverter dan *losses* dari penghantar yang digunakan. Sehingga didapatkan hasil akhir seperti di *main result*. Dengan penggunaan PVSyst sebagai media simulasi sistem, menambah tingkat keakuratan perencanaan PLTS Atap On Grid di perusahaan manufaktur karawang serta melengkapi kekurangan dari penelitian yang dilakukan oleh Burhandono [11].

Penghasilan Tahunan

$$= 1.624.801 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp } 1.035,78 / \text{kWh}$$

$$= \text{Rp } 1.682.936.379,78$$

Dari perhitungan di atas, penghasilan tahunan yang diperoleh sebesar Rp 1.682.936.379.

Pengurangan Emisi CO₂

$$= 1.624,80 \text{ MWh/tahun} \times 0.83 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

$$= 1.348,584 \text{ ton CO}_2 \text{ per tahun}$$

Pengurangan emisi karbon didapatkan nilai sebesar 1.348,584 ton CO₂ per tahunnya.

4. Kesimpulan

Perencanaan PLTS Atap On-Grid dengan kapasitas 1.202 kWp di perusahaan manufaktur Karawang ini menggunakan 2 komponen utama yaitu 1.970 buah modul PV 610 WP, 9 buah Inverter 100 kW serta 1 buah Inverter 50 kW. Penentuan konfigurasi modul PV didapatkan jumlah maximum yaitu sebanyak 19 modul PV untuk tiap input mppt inverter dan demi keefisienan pemanfaatan ruang atap secara maksimal maka dipilih konfigurasi dengan total modul PV 18 (2x9) dan 16 (2x8). Dari hasil penentuan konfigurasi string didapatkan total string sebanyak 113 dengan rincian 81 string dengan konfigurasi 18 modul dan 32 string dengan konfigurasi 16 modul. Instalasi PLTS yang direncanakan yaitu pengkabelan sisi DC menggunakan solar kabel 6 mm². Sisi AC menggunakan kabel NYY 4 x 95 mm², NYY 4 x 25mm² dan NYY 4 x (3x(1x300 mm²)). Kabel Grounding modul PV NYA 1x6mm², inverter 100 kW menggunakan NYA 1x50mm² dan inverter 50 kW menggunakan 1x16 mm². Proteksi output modul PV menggunakan DC Fuse Suntime model SGR 1000V 20A 1P, breaker output inverter 100 kW menggunakan MCCB NSX250F, inverter 50 kW menggunakan MCCB NSX100F dan AC Combiner menggunakan ACB MTZ220H1. DED meliputi SLD, Layout bangunan, Layout modul PV. Dari hasil pensimulasian didapatkan data produksi energi pertahun sebesar 1.624.801 kWh/year, spesifik produksi 1.352kWh/kWp/year, spesifik produksi harian 3,7 kWh/kWp/day dan performance ratio sebesar 76,1%. Selain itu perencanaan PLTS ini memberikan penghasilan pertahunnya yaitu sebesar Rp 1.682.936.379,78 dan pengurangan emisi karbon sebesar 1.348,584 ton CO₂ Pertahunnya. Dalam perencanaan ekonomi yang lebih baik, disarankan untuk melakukan Analisa ekonomi seperti perhitungan Rancangan Anggaran Biaya, perhitungan investasi awal dan perhitungan waktu balik modal investasi awal, untuk memperinci perencanaan. Dalam perencanaan teknis yang lebih baik disarankan untuk menambahkan rencana pelaksanaan maintenance.

Referensi

- [1] O. Bosman and R. D. Putra, "Arah pembangunan energi terbarukan di Indonesia pada era presiden Joko Widodo," *Energy Justice*, vol. 1, no. 1, pp. 51–64, 2024, doi: 10.61511/enjust.v1i1.2024.701.
- [2] I. Kurniawan, R. Ichwani, R. Fionasari, A. Batubara, and A. Huda, "Indonesia's Renewable Energy Outlook: What to Expect in The Future Renewable Energy of Indonesia. A Brief Review," *Elkawanie*, vol. 8, no. 2, p. 298, 2022, doi: 10.22373/ekw.v8i2.18738.
- [3] S. Amin and W. Agus Nurtiyanto, "ANALYSIS OF HOUSE ROOF PLTS BASED ON THE PVsyst APPLICATION IN HOUSING IN BANJAR SERANG DISTRICT ANALISA PLTS ATAP RUMAH BERBASIS APLIKASI PVsyst DI PERUMAHAN BANJAR SERANG REGENCY," *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 735–754, 2024, [Online]. Available: <https://idm.or.id/JSCR/inde>
- [4] SUHENDAR, *Dasar Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI), 2022.
- [5] Samsurizal, K. T. Mauriraya, M. Fikri, N. Pasra, and Christiono, *Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2021.
- [6] A. Rachmi, B. Prakoso, Hanny Berchmans, I. Devi Sara, and Winne, "Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia," *PLTS Atap*, p. 94, 2020.
- [7] B. Rudyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. Unisma Press, 2023.
- [8] R. Bagus, *PV MINI-GRID INSTALLATION Dos & Don'ts*. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development, 2021.
- [9] J. Good and J. X. Johnson, "Impact of inverter loading ratio on solar photovoltaic system performance," *Appl. Energy*, vol. 177, pp. 475–486, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.134.
- [10] I. Jamil, H. Lucheng, S. Habib, M. Aurangzeb, A. Ali, and E. M. Ahmed, "Performance Ratio Analysis Based on Energy Production for Large-Scale Solar Plant," *IEEE Access*, vol. 10, no. January, pp. 5715–5735, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141755.
- [11] A. Burhandono, J. Windarta, and N. Sinaga, "Perencanaan PLTS Roof Top On-Grid Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi Auxiliary Power dan Memperbaiki Nilai Nett Plant Heat Rate Pembangkit," vol. 3, no. 2, pp. 61–79, doi: 10.14710/jebt.2022.13051.
- [12] E. A. Karuniawan, F. A. F. Sugiono, P. D. Larasati, and A. R. Pramurti, "Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVSYST," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 4, no. 2, 2023.
- [13] Harmiansyah, "Perancangan Sistem PLTS on Grid pada Asrama Mahasiswa TB 2 Institut Teknologi Sumatera Menggunakan Software PVsyst," vol. 9, no. 2, pp. 184–191, 2023.
- [14] E. Sayoga *et al.*, "Analisis Sistem Dan Hasil Simulasi Perencanaan PLTS On-Grid Pada Gedung SMA SULUH Jakarta Menggunakan Software PVsyst," pp. 1664–1671, 2023.
- [15] S. N. Indonesia, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020 – Bagian 1: Pendahuluan , prinsip fundamental dan definisi," pp. 1–850, 2020.
- [16] T. Australian, "AS/NZS 3008.1.1:2009 Australian / New Zealand Standard™ Electrical installations — Selection of cables up to and including 0.6 / 1 kV — Typical Australian installation conditions," vol. 2009, no. 1, 2009.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, "Penjelasan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011," *Dirjen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.