

# Analisis Desain PLTS Atap Tipe *Gable Roof* menggunakan Metode *Weight Score*

NURUL MAGHIROH MUCHAROMAH<sup>1</sup>, MARTIN CHOIRUL FATAH<sup>1</sup>, ZICO ALAIA AKBAR<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi PLN, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia  
Email: nurul2010026@itpln.ac.id

*Received* 28 Februari 2023 | *Revised* 19 Maret 2023 | *Accepted* 21 Maret 2023

## ABSTRAK

*PLTS merupakan salah satu pembangkit yang dapat diterapkan di lingkungan perkotaan dengan memanfaatkan atap gedung sebagai lokasi pemasangannya. Salah satu lokasi yang berpotensi untuk dilakukan pemasangan PLTS adalah pada atap gedung perkantoran PT. PLN (Persero) UPT Cirebon yang memiliki luas total atap sebesar 3.150,65 m<sup>2</sup>. Desain PLTS pada lokasi penelitian dibuat menggunakan software PVSOL dengan menguji tiga skenario yaitu: penggunaan 13 inverter, 9 inverter dan optimalisasi sudut dengan 9 inverter. Dari hasil simulasi pemasangan PLTS atap pada lokasi penelitian menggunakan PVSOL didapatkan hasil produksi energi sebesar 376.354,87-386.934,28 kWh per tahun, persentase IRR sebesar 13,94%-14,35% dan penurunan emisi sebesar 272,828-280,498 kgCO<sub>2</sub> per tahun, yang selanjutnya akan diolah menggunakan metode weight score untuk menentukan skenario terbaik yang dapat diterapkan di lokasi penelitian. Dari hasil pengolahan data menggunakan metode weight score didapatkan skenario tiga merupakan skenario terbaik (dengan nilai 0,335) yang dapat diterapkan di lokasi penelitian.*

**Kata kunci:** *PLTS atap, gable roof, weight score, PVSOL*

## ABSTRACT

*A solar power plant is one of the power generators in an urban environment which does not need large land assets by utilizing a building roof as the installation place. One of the potential installation places is the roof of the PT. PLN (Persero) UPT Cirebon office building which has a total roof area of 3,150.65 m<sup>2</sup>. The design of the solar power plant was made using PVSOL software using 3 scenarios, which are: 9 inverters, 13 inverters, and optimizing angles with 9 inverters. From the simulation results, it is observed that the energy production results are 376,354.87-386,934.28 kWh per year, the IRR percentage is 13.94%-14.35% and the emission reduction is 272,828-280,498 kgCO<sub>2</sub> per year. To define the best scenario from the above results, weight score method were employed whereby scenario three is the best scenario (with a score of 0.335) that can be applied at the location.*

**Keywords:** *Rooftop solar power plant, gable roof, weight score, PVSOL*

## 1. PENDAHULUAN

Energi surya di Indonesia merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah di antara sumber energi terbarukan lainnya. Menurut data dari Ditjen EBTKE tahun 2018 yang termuat dalam buku Indonesia Energi Outlook (**Dewan Energi Nasional, 2019**), menyatakan bahwa potensi energi surya di Indonesia adalah 207,898 GWp dengan total pemanfaatan sekitar 97,4 MWp atau sekitar 0,06%.

Selain potensinya yang besar, PLTS juga merupakan salah satu pembangkit yang dapat diterapkan di lingkungan perkotaan tanpa memerlukan aset lahan yang luas yaitu dengan memanfaatkan atap gedung sebagai lokasi pemasangannya, dan dapat dipasang dari mulai skala rumah tangga, perkantoran hingga skala utilitas.

Pesatnya perkembangan PLTS yang diikuti oleh peningkatan efisiensi modul surya dan semakin terjangkaunya nilai investasi membuat PLTS semakin diminati oleh masyarakat (**Rahman, dkk, 2022**), terutama masyarakat di perkotaan yang ingin menghemat pemakaian listrik serta meningkatkan penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (**IRENA, 2022**), yaitu membandingkan antara penurunan biaya investasi, *capacity factor* dan *levelized of electrical* PLTS tahun 2010 dengan tahun 2021. Dari penelitian tersebut didapatkan penurunan biaya investasi sebesar 82%, peningkatan *capacity factor* sebesar 25% dan penurunan *levelized cost* sebesar 88%.

Salah satu lokasi yang berpotensi untuk dilakukan pemasangan PLTS adalah gedung perkantoran PT. PLN (Persero) UPT Cirebon yang disuplai dari Trafo Pemakaian Sendiri (PS) yaitu Trafo IV GI Sunyaragi dan bersumber dari pembangkit konvensional di sistem kelistrikan PLN. Perencanaan pemasangan PLTS di lokasi ini bermaksud untuk mengurangi beban pemakaian trafo PS dalam kegiatan operasional kantor, serta untuk meningkatkan penggunaan pembangkit EBT di sisi internal perusahaan sebagai langkah aktif untuk ikut berkontribusi dalam penurunan emisi di Indonesia.

PT. PLN (Persero) UPT Cirebon memiliki atap gedung yang cukup luas dan berpotensi untuk dilakukan pemasangan PLTS atap yaitu gedung kantor UPT, Gedung PDKB, Gedung Kantor ULTG, dan Gedung GI Sunyaragi dengan luas total sebesar 3.150,65 m<sup>2</sup>.

Dalam merancang PLTS atap diperlukan beberapa faktor yang harus diperhatikan agar desain pemasangannya optimal seperti mengetahui tipe atap, sudut kemiringan, orientasi bangunan dan kekuatan struktur atapnya. Dari hasil pengamatan awal diketahui lokasi ini memiliki karakteristik khusus yaitu tipe atap berjenis *gable roof* dengan sudut kemiringan antara 5° - 26° menghadap ke arah barat, timur, selatan dan utara dengan rata-rata pemakaian listrik pada April 2020 sampai dengan September 2021 sebesar 25.740 kWh per bulan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan di Australia membahas tentang optimalisasi produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap melalui *software* Helioscope yaitu membandingkan antara lima tipe atap *Flat roof*, *Shed roof*, *Gable roof*, *Hip roof*, dan *butterfly roof* dengan sudut kemiringan antara 15°-50° dan luas area 208 m<sup>2</sup>. PLTS atap ini terhubung ke jaringan dengan sudut azimuth 5° menghadap utara, dan sudut kemiringan panel 30° tanpa adanya potensi bayangan yang mengganggu produksi listriknya. Dari hasil penelitian didapatkan hasil sudut kemiringan optimal adalah 35°, dengan tipe atap yang memiliki potensi maksimal adalah tipe *shed roof* serta dari hasil penelitian didapatkan juga adanya pengaruh yang cukup signifikan antara kondisi bayangan terhadap produksi listrik PLTS yaitu menyebabkan penurunan produksi hingga 24% (**Li, dkk, 2020**).

Penelitian yang dilakukan oleh **(Adu, dkk, 2020)** tentang sudut kemiringan optimal pada PLTS atap menggunakan tiga skenario sistem kelistrikan yang berbeda yaitu *Grid Tied* tanpa BESS, *Grid Tied* dengan BESS dan *stand-alone*. PLTS atap ini didesain untuk sebuah bangunan komunitas terpencil di Kumasi Ghana yaitu Rumah anak KiKuKunderhaus dengan karakteristik atap berbentuk U-shape, profil beban rata-rata yaitu 35,35 kWh/hari serta radiasi harian rata-rata sebesar 4.344 kWh/m<sup>2</sup>. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan sudut kemiringan antara 5°-30° menggunakan *software* RETScreen 4 yang menghasilkan kesimpulan semakin tinggi sudut kemiringan maka akan semakin besar penurunan produksi energi listriknya terutama pada *system Grid Tied* tanpa BESS. Dengan mempertimbangkan potensi *self-cleaning* didapatkan sudut optimal untuk pemasangan PLTS atap adalah 10° yang berorientasi ke arah selatan.

Penelitian yang dilakukan oleh **(Islam, dkk, 2020)** tentang pengaruh sudut kemiringan antara 2°, 6°, dan 10° pada azimuth 10° terhadap perancangan PLTS atap di Gedung Akademik Southeast University Bangladesh dengan luas area 700 m<sup>2</sup> dan jumlah panel surya sebanyak 180 buah. Penelitian ini dilakukan menggunakan *software* helioscope. Dari ketiga studi kasus tersebut diketahui bahwa sudut optimal pemasangan PLTS di Gedung tersebut adalah 2° dengan total produksi 81,04 MWh, rasio performa 81,1% dan POA loss sebesar 1,1% dari total produksi energi listrik yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan oleh **(Damiri, dkk, 2019)** tentang desain PLTS atap 52,5 kWp pada gedung Cikarang Industrial Park dengan luas area 1170 m<sup>2</sup> menggunakan *software* Helioscope dan PVSyst. Penelitian ini memberikan gambaran tentang desain, komponen utama, produksi energi, rasio kinerja, serta estimasi biaya proyek dan BPP PLTS atap. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah nilai GHI, produksi energi bulanan dan performa rasio yang diperoleh dengan cara pengukuran secara langsung didapatkan nilai yang lebih rendah dari hasil simulasi menggunakan PVSyst maupun helioscope. Selain itu didapatkan pula hasil biaya pokok produksi dari PLTS atap lebih rendah dari tarif listrik PLN sehingga dapat dikatakan bahwa pemasangan PLTS atap di Cikarang industrial Park layak secara ekonomi.

Penelitian yang dilakukan oleh **(Ates & Singh, 2021)**, membandingkan antara energi keluaran PLTS atap 30 kWp menggunakan simulasi Spreadsheet dan pengukuran secara langsung yang terpasang di Sekolah Vokasi Koprubasi Universitas Manisa Celal Bayar Turki. PLTS ini menggunakan modul surya jenis *polycrystalline* yang dipasang dengan jarak 15 cm dari ketinggian atap dengan jumlah modul 116 buah, sudut kemiringan 12° dan azimuth -20°. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan energi keluaran pada simulasi lebih tinggi daripada pengukuran secara langsung karena tidak memperhitungkan faktor lain diluar sistem seperti penggunaan intensitas matahari, suhu panel, dan pemutusan otomatis dari sistem akibat fluktuasi kualitas tegangan. Dari hasil pengukuran tegangan keluaran tersebut kemudian digunakan sebagai acuan untuk menentukan rata-rata performa PLTS atap sehingga didapatkan nilai efisiensi panel surya sebesar 13,59%, efisiensi inverter sebesar 97,88%, efisiensi sistem sebesar 13,29%, dan rasio kinerja sebesar 83,61% .

Pada tahun 2021, penelitian yang dilakukan oleh Al-Zoubi **(Al-Zoubi, dkk, 2021)**, dan timnya, menganalisis tentang kelayakan teknoekonomi dari pemasangan Solar PV di hotel Cedars kota Aman Yordania yang diketahui memiliki sudut optimal 32° menghadap kearah selatan. Penelitian ini dilakukan menggunakan *software* PVGIS dan PVSyst untuk mencari PR, rugi-rugi sistem, dan kelayakan ekonomi. Desain perancangan pada lokasi penelitian dibuat menggunakan *software* AutoCAD. Simulasi yang dilakukan yaitu menggunakan azimuth 0° dengan sudut kemiringan 7° didapatkan hasil produksi energi rata-rata tahunan menggunakan PVGIS sebesar 474.214 kWh dan PVSyst 541 MWh, rugi-rugi sistem pada PVGIS 24,3% dan pada PVSyst didapatkan hasil rugi-rugi Aray sebesar 13,7% dan rugi-rugi inverter sebesar

1,7% dengan Performa Rasio 82,8%. Dari segi ekonomi proyek ini dapat dinyatakan layak dengan *Payback period* selama 4,1 tahun dan harga produksi listrik dari solar PV sebesar \$0,0199 USD / kWh lebih murah dari harga jual listrik oleh Jordan Electricity Company yaitu \$0,1285 USD/kWh. Sehingga dapat menghemat pengeluaran sebesar \$38.718 USD per tahun.

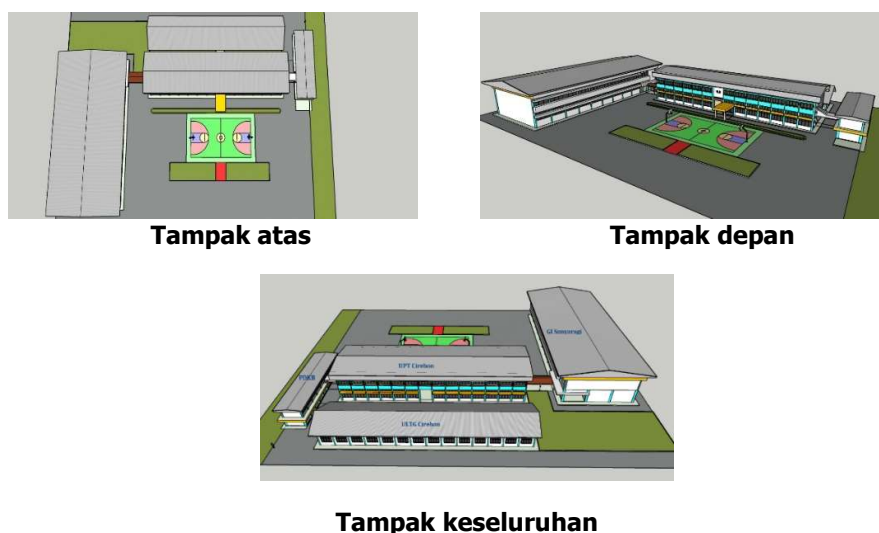
Dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan maka dirancanglah tiga skenario PLTS atap *on-grid* tanpa BESS untuk menentukan desain yang paling optimal sesuai dengan kondisi atap dan lokasi penelitian menggunakan *software* PVSOL. Skenario yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan membuat beberapa versi desain yaitu menyesuaikan jumlah inverter dengan kapasitas modul tiap gedung, menyesuaikan jumlah inverter dengan kapasitas modul pada keseluruhan area gedung, dan yang ketiga yaitu mencari sudut optimal pada setiap arah atap gedung dengan rentang sudut  $0^{\circ}$ - $40^{\circ}$  agar mendapatkan variasi data yang lebih luas. Selain itu dilakukan perhitungan biaya investasi untuk mengetahui kelayakan secara finansial serta dampaknya terhadap lingkungan.

## 2. METODE

Pengumpulan data pada karya ilmiah ini menggunakan metode observasi, di mana menurut Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS di Indonesia (**ICED II, 2020**), dalam menganalisis lokasi pemasangan PLTS atap diperlukan data tentang orientasi gedung, sudut kemiringan, luas atap, dan pemakaian beban yang dalam penelitian ini diperoleh dari pengukuran langsung pada lokasi penelitian. Sedangkan data sekunder berupa radiasi matahari diperoleh melalui *software* PVSOL yang dapat menampilkan data rata-rata radiasi matahari tiap bulan dari *Meteonorm* serta dapat menampilkan estimasi profil radiasi matahari yang dihasilkan per jamnya untuk menentukan jam operasional optimal PLTS dalam mensuplai listrik pada lokasi penelitian.

### 2.1 Karakteristik Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian memiliki karakteristik atap tipe *gable roof* sehingga orientasi tiap bangunan memiliki dua sisi sudut atap yang berlawanan arah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Ilustrasi Lokasi Penelitian menggunakan *Sketch-Up*

Dari hasil pengukuran pada lokasi penelitian didapatkan karakteristik bangunan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Karakteristik Lokasi Penelitian**

Uraian	Orientasi		Sudut $\alpha$	Ukuran bangunan (p x l) m
	Orientasi 1	Orientasi 2		
Gedung GI	351,0 °	171,0 °	10	60 x 20
Gedung kantor UPT	81,0 °	261,0 °	15	60 x 15
Gedung ULTG	80,0 °	260,0 °	16	60 x 8
Gedung PDKB	351,0 °	170,0 °	10	60 x 5
Total luas atap :				<b>3.150,65 m<sup>2</sup></b>

## 2.2 Beban Pemakaian Listrik

Beban pemakaian listrik pada lokasi penelitian didapatkan dari histori pengukuran kWh meter bulanan periode April 2020 - September 2021 yang terdapat pada Tabel 2 yaitu :

**Tabel 2. Histori Pengukuran kWh Meter Bulan April 2020-September 2021**

Bulan	Data ke -	kWh	Bulan	Data ke -	kWh
April 2020	1	27.005,00	Januari 2021	10	24.941,00
Mei 2020	2	26.019,00	Februari 2021	11	22.074,00
Juni 2020	3	24.647,00	Maret 2021	12	26.747,00
Juli 2020	4	25.628,00	April 2021	13	26.161,00
Agustus 2020	5	25.544,00	Mei 2021	14	27.174,00
September 2020	6	26.031,00	Juni 2021	15	25.239,00
Oktober 2020	7	25.992,00	Juli 2021	16	26.078,00
November 2020	8	25.621,00	Agustus 2021	17	27.138,00
Desember 2020	9	24.355,00	September 2021	18	26.932,00
<b>Rata-rata</b>					<b>25.740,33</b>

Hasil histori pencatatan kWh bulanan pada Tabel 2 dapat digunakan untuk menghitung ramalan beban selama 20 tahun mendatang dengan menggunakan metode regresi linier pada Ms Excel. Hasil persamaan regresi yang didapatkan dari Ms Excel adalah:

$$y = (40,421x + 25356) \text{ kWh / bulan} \quad (1)$$

Dari Persamaan (1), estimasi pemakaian beban selama 20 tahun mendatang dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Estimasi Pemakaian Beban Tahun 2022 – Tahun 2024**

Tahun	Estimasi beban / tahun (kWh)	Tahun	Estimasi beban / tahun (kWh)	Tahun	Estimasi beban / tahun (kWh)
2022	317.610,93	2029	358.355,30	2036	399.099,67
2023	323.431,55	2030	364.175,92	2037	404.920,29
2024	329.252,18	2031	369.996,55	2038	410.740,91
2025	335.072,80	2032	375.817,17	2039	416.561,54
2026	340.893,43	2033	381.637,79	2040	422.382,16
2027	346.714,05	2034	387.458,42	2041	428.202,79
2028	352.534,67	2035	393.279,04	2042	434.023,41

## 2.3 Iradiasi Matahari

Data radiasi matahari pada Tabel 4 dan Gambar 2 diperoleh dari basis data yang digunakan pada *software* PVSOL (**Valentin Software GmbH, 2022**). Data yang ditampilkan yaitu data rata-rata radiasi matahari tiap bulan serta estimasi profil radiasi matahari yang dihasilkan per jam. Sehingga dapat digunakan untuk menentukan jam operasional optimal PLTS dalam mensuplai listrik dilokasi penelitian.

a. Rata-rata radiasi per bulan

**Tabel 4. Data Radiasi Matahari pada *Software* PVSOL**

Bulan	Global Horizontal Irradiation Meteonorm 7.3 (1991-2010) (kWh/m <sup>2</sup> /month)	Bulan	Global Horizontal Irradiation Meteonorm 7.3 (1991-2010) (kWh/m <sup>2</sup> /month)
Januari	120,49	Juli	153,98
Februari	119,82	Agustus	167,90
Maret	145,66	September	169,23
April	143,72	Oktober	166,70
Mei	153,64	November	178,01
Juni	144,69	Desember	136,22
<b>Annual Irradiation (kWh/m<sup>2</sup>)</b>		<b>1800,06</b>	

b. Profil radiasi matahari per jam

	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
04:00												
05:00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,03	0,17	0,22	0,10
06:00	2,21	1,45	1,96	2,24	2,30	1,68	0,79	2,08	3,48	4,56	5,06	3,16
07:00	6,33	4,77	6,95	7,13	7,29	6,50	6,79	7,58	9,33	10,18	11,00	7,56
08:00	10,36	9,28	12,37	12,10	12,59	11,63	12,25	14,02	15,00	15,54	16,56	12,30
09:00	13,91	11,95	16,75	16,94	16,71	16,04	16,71	19,17	19,72	20,04	21,03	15,94
10:00	15,99	14,30	19,75	20,23	19,72	19,43	19,98	22,49	22,47	21,43	24,39	17,43
11:00	15,95	15,86	20,31	20,18	21,37	20,77	22,48	23,78	23,21	22,44	24,45	18,06
12:00	15,19	17,25	19,52	19,11	22,27	20,44	21,89	23,60	23,08	21,93	23,34	17,32
13:00	13,60	16,16	16,93	17,17	20,56	18,49	19,96	21,16	20,67	20,26	20,40	15,92
14:00	11,85	12,38	14,37	13,78	15,97	14,92	16,44	17,01	16,06	15,34	15,95	13,40
15:00	8,50	9,50	10,18	9,65	10,30	10,10	11,13	11,21	10,81	10,05	10,51	9,73
16:00	5,05	5,32	5,71	4,88	4,41	4,51	5,26	5,46	5,11	4,55	4,84	4,79
17:00	1,53	1,60	0,85	0,31	0,16	0,17	0,30	0,35	0,25	0,22	0,25	0,52
18:00	0,00	0,00										
19:00												
Sum (kWh/m <sup>2</sup> )	120,486	119,825	145,66	143,723	153,644	144,686	153,981	167,897	169,232	166,703	178,012	136,222

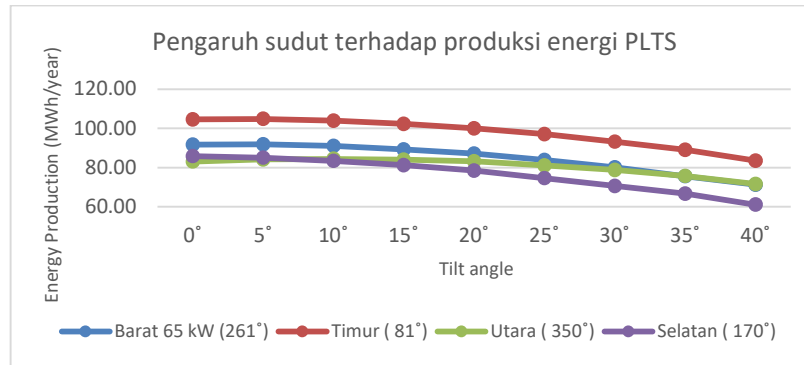
**Gambar 2. Rata-Rata Radiasi Matahari Per Jam**

Dari Gambar 2 diperoleh jam operasional PLTS mulai memproduksi listrik secara optimal antara pukul 07.00-16.00 WIB.

**2.4 Skenario Desain**

Penelitian ini dirancang menggunakan tiga skenario yang berbeda berdasarkan jumlah inverter dan sudut pemasangan panel surya yang digunakan.

- a. Skenario 1 didesain dengan cara memasang panel surya sesuai dengan sudut kemiringan atap pada lokasi penelitian dengan jumlah inverter menyesuaikan jumlah panel surya yang terpasang pada setiap gedung.
- b. Skenario 2 memiliki desain peletakan panel surya yang sama seperti pada skenario 1 hanya saja jumlah inverter yang digunakan dihitung berdasarkan jumlah keseluruhan panel surya yang dipasang pada lokasi penelitian sehingga jumlah inverter yang digunakan dapat lebih efisien.
- c. Skenario 3 didesain dengan memodifikasi peletakan panel surya pada skenario 2 yaitu dengan cara mencari sudut optimal pada masing masing orientasi gedung sehingga iradiasi yang diterima oleh PLTS dapat optimal. Pengujian sudut optimal antara 0°-40° dari masing-masing arah bangunan dilakukan dengan memperhitungkan luas atap tiap arah. Sehingga pengaruh sudut terhadap produksi energi pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

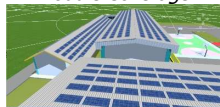
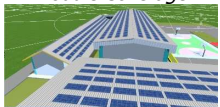
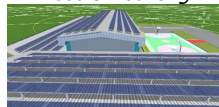


**Gambar 3. Hasil Produksi Energi pada Sudut 0°-40° Di Lokasi Penelitian**

Dari Gambar 3 didapatkan hasil produksi energi antara sudut 0°-40° pada masing-masing arah memiliki sudut optimal yang berbeda. Sudut optimal pada arah barat adalah 5°, pada arah timur 5°, pada arah utara 10° dan pada arah selatan 0°. Selisih sudut antara sudut atap dan sudut optimal akan digunakan untuk menghitung volume kebutuhan kerangka tambahan pada panel surya sehingga mempermudah perhitungan biaya investasi sesuai dengan kondisi skenario 3.

Perbedaan skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Karakteristik Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3**

Uraian	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
<b>Desain panel surya</b>	Sudut panel menyesuaikan sudut atap	Sudut panel menyesuaikan sudut atap	Sudut panel menyesuaikan sudut optimal pada masing-masing arah
<b>Tipe Desain panel surya</b>	<i>Module Coverage</i> 	<i>Module Coverage</i> 	<i>Module Mounting</i> 
<b>Jenis panel surya</b>	Trina Solar, TSM-PD14 320 (May 16) (320)	Trina Solar, TSM-PD14 320 (May 16) (320)	Trina Solar, TSM-PD14 320 (May 16) (320)
<b>Kapasitas panel surya (kWp)</b>	0,32	0,32	0,32
<b>Jumlah panel surya</b>	<b>809</b>	<b>809</b>	<b>809</b>
- UPT timur	116	116	116
- UPT barat	116	116	116
- ULTG timur	116	116	116
- ULTG barat	87	87	87
- GI sunyaragi utara	168	168	168
- GI sunyaragi selatan	168	168	168
- PDKB utara	16	16	16
- PDKB selatan	22	22	22
<b>Desain inverter</b>	jumlah inverter menyesuaikan jumlah modul tiap sisi bangunan	Jumlah inverter berdasarkan jumlah modul secara keseluruhan	Jumlah inverter berdasarkan jumlah modul secara keseluruhan
<b>Jenis inverter</b>	Sunny Tripower 24000 TL-US-10 STP8.0-3AV-40 Sunny Boy 6.0-1AV-41	Sunny Tripower 24000 TL-US-10	Sunny Tripower 24000 TL-US-10
<b>Tipe inverter</b>	String	String	String
<b>Jumlah inverter</b>	13	9	9

## 2.5 Metode Pengambilan Keputusan

Pengambilan keputusan pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan desain yang paling optimal dari aspek teknis, ekonomi maupun lingkungan menggunakan metode *Weight Product*.

Metode *Weight product* merupakan alat bantu pengambil keputusan yang dilakukan untuk menentukan alternatif yang paling menguntungkan dengan cara menghubungkan setiap kriteria dengan bobot atribut sehingga didapatkan nilai preferensi dan rangking dengan nilai tertinggi sebagai nilai akhirnya (**Ermin, dkk, 2020**).

Persamaan untuk menentukan nilai *weight product* adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan nilai bobot W

$$W_j = \frac{W_j}{\sum W_j} \quad (2)$$

Di mana :

W = bobot kriteria  
j = kriteria

- b. Menentukan nilai Vektor S

$$S_i = \prod_{j=1}^n X_{ij}^{W_j}; \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Di mana :

S = preferensi alternatif ( vektor S)  
X = Nilai kriteria  
i = Alternatif  
n = banyaknya kriteria

- c. Menentukan nilai Vektor V

$$V_i = \frac{\prod_{j=1}^n X_{ij} W_j}{\prod_{j=1}^n (X_j) W_j} \quad (4)$$

Di mana :

V = preferensi alternatif (vektor V)

## 3. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang diperoleh dari skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 pada software PVSOL mencakup kajian secara teknis, ekonomi dan lingkungan.

### 3.1 Analisis Teknis

#### ***Power capacity***

Kapasitas daya terpasang pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 6.



**Tabel 6. Kapasitas Daya Terpasang pada Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3**

Lokasi	Jumlah Modul	Kapasitas modul (kWp)	Power (kWp)		
			Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
UPT timur	116	0,32	37,12	37,12	37,12
UPT barat	116	0,32	37,12	37,12	37,12
ULTG timur	116	0,32	37,12	37,12	37,12
ULTG barat	87	0,32	27,84	27,84	27,84
GI sunyaragi utara	168	0,32	53,76	53,76	53,76
GI sunyaragi selatan	168,0	0,32	53,76	53,76	53,76
PDKB utara	22	0,32	7,04	7,04	7,04
PDKB selatan	16	0,32	5,12	5,12	5,12
<b>Jumlah Total (kWp)</b>			<b>258,88</b>	<b>258,88</b>	<b>258,88</b>

Dari Tabel 6 didapatkan hasil kapasitas daya terpasang pada skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 memiliki nilai yang sama, hal ini dikarenakan luas area, jumlah modul, jarak antar modul dan spesifikasi modul yang digunakan pada lokasi penelitian adalah sama.

### Produksi energi

Produksi energi PLTS atap cenderung fluktuatif karena dipengaruhi oleh banyak faktor baik secara teknis maupun non teknis. Pada penelitian ini, penulis bermaksud untuk membandingkan produksi listrik dari tiga skenario yang berbeda untuk mengetahui skenario mana yang menghasilkan energi listrik paling optimal sepanjang tahun sesuai dengan kondisi lokasi penelitian menggunakan *software* PVSOL. Untuk mencari besarnya produksi energi yang dihasilkan oleh PLTS yaitu dengan cara mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada PLTS atap terhadap nilai GHI yang digunakan pada *software*. Rugi-rugi yang terjadi pada PLTS atap dibagi menjadi dua yaitu rugi-rugi optik yaitu rugi-rugi yang diterima oleh PLTS karena pengaruh tata letak dan sudut panel yang digunakan serta rugi-rugi sistem yaitu rugi-rugi yang terjadi pada panel surya, inverter maupun komponen pendukungnya.

Hasil perhitungan radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Perhitungan Radiasi Matahari yang Diterima Panel Surya pada PVSOL**

Deskripsi	PVSOL		
	Skenario 2	Skenario 2	Skenario 3
Annual GHI (kWh/m <sup>2</sup> )	1.800,06	1.800,06	1.800,06
Deviation	-1,00%	-1,00%	-1,00%
Ground Reflection	0,33%	0,33%	0,05%
POA	-2,54%	-2,54%	0,01%
Shading	-0,09%	-0,09%	-0,03%
Reflection	-2,06%	-2,06%	-2,06%
Soiling	-	-	-
presentase total	-5,36%	-5,36%	-3,03%
<b>Global Radiation at the Module (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>1703,59</b>	<b>1703,59</b>	<b>1745,57</b>

Nilai radiasi pada modul surya pada Tabel 7 dapat dijadikan sebagai dasar untuk menghitung nilai rating energi pada PLTS atap yaitu dengan mengalikan nilai radiasi pada modul terhadap luas modul dan efisiensi modul. Sehingga rating energi pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8. Rating Energi PLTS Atap pada PVSOL**

Deskripsi	PVSOL		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Global Radiation at the Module (kWh/m <sup>2</sup> )	1.703,59	1.703,59	1.745,57
Luas Panel surya (m <sup>2</sup> )	1.569,75	1.569,75	1.569,75
Efficiency modul (%)	16,50%	16,50%	16,50%
<b>Rated PV Energy (kWh)</b>	<b>441.267,00</b>	<b>441.267,00</b>	<b>452.141,00</b>

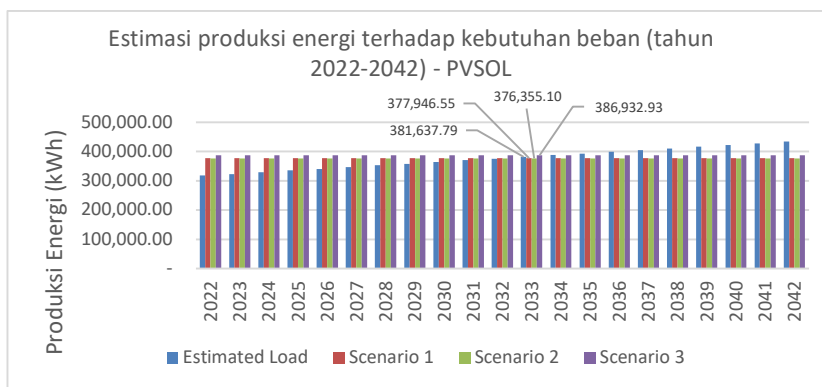
Hasil rating energi pada Tabel 8 dapat digunakan untuk menghitung produksi energi tahunan PLTS atap dengan mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada sistem terhadap energi idealnya. Sehingga produksi energi tahunan pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9. Perhitungan Produksi Energi Tahunan pada PVSOL**

Deskripsi	PVSOL		
	skenario 1	skenario 2	skenario 3
Rated PV Energy (kWh/year)	441.267,00	441.267,00	452.141,00
Irradiance	-0,45%	-0,41%	-0,41%
Temperature	-8,76%	-8,76%	-8,61%
Mismatch	-2,05%	-2,17%	-2,10%
Wiring	-0,10%	-0,17%	-0,20%
Clipping	-0,01%	-0,01%	-0,01%
Inverter	-2,92%	-3,15%	-3,20%
AC system	0,00%	-0,01%	-0,01%
partial shading	-0,50%	-0,54%	-0,43%
MPP match	-0,23%	-0,22%	-0,20%
Diodes	-0,01%	-0,01%	-0,01%
<b>Presentase total</b>	<b>-15,03%</b>	<b>-15,45%</b>	<b>-15,17%</b>
<b>Annual Production (kWh/year)</b>	<b>377.944,79</b>	<b>376.354,87</b>	<b>386.934,28</b>

Dari Tabel 9 didapatkan hasil produksi energi listrik tahunan pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 melalui *software* PVSOL. Di mana pada skenario 3 menghasilkan energi tahunan lebih banyak dari skenario lain yaitu sebesar 386.934,28 kWh per tahun.

Produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap pada Tabel 9 dapat digunakan untuk mengetahui proyeksi pemenuhan beban pada waktu mendatang, yaitu membandingkan antara estimasi produksi energi tahunan apabila diasumsikan tidak ada penurunan fungsi peralatan terhadap estimasi kebutuhan beban periode 2022-2042 yang terdapat pada Tabel 3. Perbandingan produksi energi listrik dan estimasi kebutuhan beban periode 2022-2042 dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4. Estimasi Produksi Energi Terhadap Kebutuhan Beban Periode 2022-2042**

Pada **Gambar 4** diketahui produksi energi yang dihasilkan oleh PLTS atap dapat memenuhi kebutuhan beban PT. PLN UPT Cirebon dan menjadi net eksportir pada tahun 2022 sampai dengan tahun 2032 pada skenario 1 dan skenario 2 atau sampai tahun 2033 pada skenario 3, setelah tahun tersebut kebutuhan listrik diasumsikan lebih tinggi daripada produksi yang dihasilkan oleh PLTS atap sehingga kekurangan energi akan disuplai oleh *grid*.

**Performance Ratio (PR)**

*Performance Ratio* (PR) merupakan salah satu indikator kualitas sistem di mana penilaiannya berdasarkan persentase energi yang dihasilkan per tahun terhadap energi idealnya. Menurut

(Gumintang, dkk, 2020) Untuk menghitung besarnya *Performance Ratio* (PR) dapat menggunakan persamaan:

$$PR = \frac{E_{yield} [kWh] \times 1 [kWh/m^2]}{Power\ Capacity [kWp] \times POA\ Irradiation [kWh/m^2]} \times 100\% \quad (5)$$

Di mana :

- $E_{yield}$  : produksi energi tahunan (kWh)
- Power capacity* : Kapasitas PLTS terpasang (kWp)
- POA Irradiation* : *Plane of Array Irradiation* (kWh/m<sup>2</sup>)

Hasil perhitungan *Performance Ratio* (PR) pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10. Perhitungan *Performance Ratio* pada PVSOL**

Deskripsi	PVSOL		
	skenario 1	skenario 2	skenario 3
<b>POA Irradiation (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	1.742,32	1.742,32	1.783,27
<b>Power capacity (kWp)</b>	258,88	258,88	258,88
<b>E ideal (kWh)</b>	451.051,80	451.051,80	461.652,94
<b>E yield (kWh)</b>	377.944,79	376.354,87	386.934,28
<b><i>Performance ratio</i> (PR)</b>	<b>83,80%</b>	<b>83,50%</b>	<b>83,80%</b>

Tabel 10 memberikan gambaran perbedaan *Performance Ratio* dari tiga skenario pada PVSOL. Di mana skenario 2 dan skenario 3 memiliki presentase yang sama yaitu sebesar 83,80%.

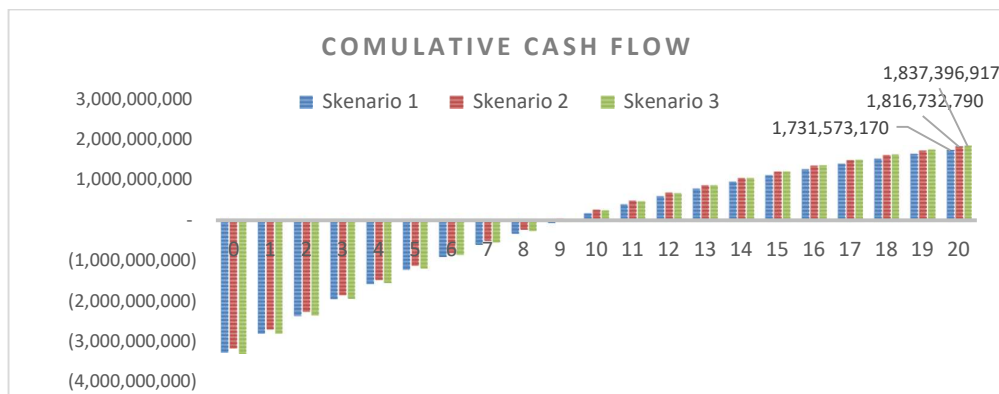
### 3.2 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi diperlukan untuk menentukan kelayakan suatu proyek dari segi keuangan. Untuk melakukan analisis kelayakan suatu proyek diperlukan data-data pendukung seperti nilai inflasi (Bank Indonesia, 2022), dan *discount rate* (Badan Pusat Statistik, 2022), yang akan digunakan sebagai acuan untuk menghitung kelayakan ekonomi pada *software* PVSOL. Data yang diperlukan untuk simulasi kelayakan ekonomi pada *software* PVSOL dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11. Data Simulasi Ekonomi pada *Software* PVSOL**

Uraian	Nilai Investasi total (Rupiah)	Biaya Pemeliharaan (Rupiah)	Nilai Inflasi komoditas energi	Discount rate	Harga jual Listrik (Rupiah)	PPN
<b>Skenario 1</b>	3.779.648.000	37.796.480	0,78%	8,44%	1.699,53	11%
<b>Skenario 2</b>	3.676.096.000	36.760.960	0,78%	8,44%	1.699,53	11%
<b>Skenario 3</b>	3.805.536.000	38.055.360	0,78%	8,44%	1.699,53	11%

Dari data yang terdapat pada Tabel 11 akan diolah melalui *software* PVSOL dan didapatkan hasil simulasi *Comulative Cashflow* pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5. *Comulative Cash Flow* Skenario 1, Skenario 2 dan Skenario 3**

Dari Gambar 5 didapatkan hasil *Net Present Value* (NPV) yang merupakan *comulative cash flow* pada akhir umur proyek yaitu skenario 1 sebesar Rp. 1.731.573.123,-, skenario 2 sebesar Rp. 1.816.732.807,-, dan skenario 3 sebesar Rp. 1.837.396.875,- dengan waktu pengembalian proyek (*Payback Period*) pada skenario 1 selama 10 tahun 3 bulan 20 hari, skenario 2 selama 9 tahun 11 bulan 3 hari, dan skenario 3 selama 10 tahun 12 hari. Apabila pada Gambar 5 dilakukan perhitungan pemasukan bersih selama umur proyek dan dibandingkan dengan nilai investasi maka didapatkan hasil *Benefit Cost Ratio* (BCR) pada skenario 1 sebesar 1,46 skenario 2 sebesar 1,49 dan skenario 3 sebesar 1,48.

Menurut (Sowe dkk., 2014) untuk menguji kelayakan tingkat efisiensi pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 dapat dilakukan perbandingan antara NPV positif dan NPV bernilai negatif untuk mendapatkan nilai *Internal Rate Return* (IRR). Sehingga didapatkan hasil IRR pada skenario 1 sebesar 13,94%, skenario 2 sebesar 14,35%, dan skenario 3 sebesar 14,22%. Sehingga IRR pada ketiga skenario tersebut dikatakan layak karena hasil presentase yang didapat lebih tinggi dari nilai *Cost of Capital*-nya yaitu 8,44%. Dari tiga skenario yang diuji dapat diambil kesimpulan bahwa skenario 2 merupakan skenario yang paling menguntungkan dari sisi ekonomi karena memiliki nilai investasi paling rendah, waktu pengembalian paling cepat dan nilai efisiensi yang paling tinggi dari skenario lain.

### 3.3 Analisis Lingkungan

Pemasangan PLTS atap di PT. PLN UPT Cirebon yang berkapasitas 258,88 kWp akan berpotensi menyebabkan penurunan emisi dari pengurangan penggunaan energi pembangkit eksisting yang mayoritas didominasi oleh PLTU. Penurunan emisi dapat dihitung dengan cara menghitung nilai produksi energi tahunan yang dikalikan dengan faktor emisi jaringan ketenagalistrikan wilayah Jawa-Madura Bali (Nguyen & Van, 2018). Sehingga menurut pedoman teknis perhitungan emisi yang dikeluarkan oleh Bappenas (Bappenas, 2014), total nilai penurunan emisi pada skenario 1, skenario 2 dan skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12. Potensi Penurunan Emisi pada Skenario 1, Skenario 2 dan Skenario 3**

Case	Annual production (kWh)	Faktor emisi (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Saving emission (kgCO <sub>2</sub> /year)
Skenario 1	377.944,79	0,725	273.914,00
Skenario 2	376.354,87	0,725	272.828,00
Skenario 3	386.934,28	0,725	280.498,00

Ditinjau dari aspek lingkungan yang ditunjukkan pada Tabel 12 didapatkan hasil skenario 3 memiliki kontribusi yang paling besar dibandingkan dengan skenario lain dalam hal

menurunkan nilai emisi, yaitu berpotensi menurunkan emisi sebesar 280.498,00 kgCO<sub>2</sub> per tahun.

### 3.4 Diskusi Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil simulasi melalui *software* PVSOL dapat digunakan untuk menentukan skenario yang paling optimal secara teknis, ekonomi dan lingkungan dengan menggunakan metode *weight product* yang berguna untuk menilai pembobotan skenario berdasarkan tingkat kepentingannya. Hasil perhitungan *weight product* dari sisi teknis pada *software* PVSOL dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13. Perhitungan *Weight Product* Aspek Teknis, Ekonomi dan Lingkungan**

Alternatif	Kapasitas (kWp)	Annual Production (kWh)	PR (%)	Investasi (Rp)	NPV (Rp)	PBP (tahun)	BCR	IRR (%)	Emisi CO <sub>2</sub> (kg/th)
Skenario 1	258,88	377.944,8	83,8	3.779.648	1731573,12	10,3	1,46	13,94	273.914
Skenario 2	258,88	376.354,9	83,5	3.676.096	1816732,81	9,92	1,49	14,35	272.828
Skenario 3	258,88	386.934,3	83,8	3.805.536	1837396,88	10,03	1,48	14,22	280.498
Atribut	Benefit	Benefit	Benefit	Cost	Benefit	Benefit	Benefit	Benefit	Benefit
Bobot	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Norm. Bobot	0,11	0,11	0,11	-0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
<b>Mencari Nilai Preferensi (S)</b>									
S1	1,85	4,17	1,64	0,19	4,93	1,30	1,04	1,34	4,02
S2	1,85	4,16	1,64	0,19	4,96	1,29	1,05	1,34	4,02
S3	1,85	4,18	1,64	0,19	4,97	1,29	1,04	1,34	4,03
<b>Mencari Vektor V</b>									
Alternatif	Score	Ranking	Keterangan						
V1	0,331	3	Skenario 1						
V2	0,334	2	Skenario 2						
V3	0,335	1	Skenario 3						

Jika dilihat dari semua aspek baik dari sisi teknis, ekonomi maupun lingkungan menggunakan metode *weight product* yang terdapat pada Tabel 13 maka didapatkan hasil skenario 3 (*score* 0,335) merupakan skenario yang paling optimal untuk diterapkan di lokasi penelitian.

## 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi desain PLTS atap menggunakan *software* PVSOL didapatkan bahwasanya skenario 3 merupakan skenario yang paling optimal untuk diterapkan di PT. PLN UPT Cirebon, di mana potensi produksi energi tahunan sebesar 386.934,28 kWp dengan tingkat rasio performa sebesar 83,80%. Produksi energi yang dihasilkan mampu mencukupi kebutuhan beban harian dengan surplus energi sebesar 205,87 kWh per hari. Apabila diproyeksikan menggunakan estimasi beban kedepan tanpa memperhitungkan faktor penurunan fungsi peralatan didapatkan hasil PLTS atap mampu menyuplai beban dan mengeksport kelebihan energi ke *grid* hingga tahun 2033. Dari sisi ekonomi skenario 3 dinyatakan layak dengan NPV sebesar Rp. 1.837.396.875,- waktu pengembalian selama 10 tahun 12 hari dan IRR sebesar 14,22%. Dari sisi lingkungan pemasangan PLTS atap pada PT. PLN UPT Cirebon berpotensi menurunkan emisi dari sisi pembangkitan energi sebesar 280.498,00 kgCO<sub>2</sub> per tahun pada PVSOL.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. PLN UPT Cirebon dan PT. PLN UP3 Cirebon atas data-data teknis yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik dan tepat waktu.

## DAFTAR RUJUKAN

- Adu, T. F., Anto, E. K., Ramde, E., & Mensah, L. D. (2020). Determination of Optimum Tilt Angle for Rooftop Solar Photovoltaic System Installation for KikuKunderhaus in Kumasi. *International Journal of Energy and Environmental Science*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.11648/j.ijees.20200501.12>
- Al-Zoubi, H., Al-Khasawneh, Y., & Omar, W. (2021). Design and feasibility study of an on-grid photovoltaic system for green electrification of hotels: a case study of Cedars hotel in Jordan. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 12(4), 611–626. <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00406-z>
- Ates, A. M., & Singh, H. (2021). Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant – One year measured performance and simulations. *Journal of King Saud University - Science*, 33(3), 101361. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101361>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Suku Bunga Kredit Rupiah Menurut Kelompok Bank*. <https://www.bps.go.id/indicator/13/383/2/suku-bunga-kredit-rupiah-menurut-kelompok-bank.html>
- Bank Indonesia. (2022). *ANALISIS INFLASI TPIP JANUARI 2021 - MEI 2022*. <https://www.bi.go.id/id/publikasi/laporan/Documents>
- Bappenas. (2014). *Pedoman Teknis Perhitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Energi*. [http://ranradgrk.bappenas.go.id/rangrk/admincms/downloads/publications/Pedoman\\_teknis\\_penghitungan\\_baseline\\_emisi\\_GRK\\_sektor\\_berbasis\\_energi.pdf](http://ranradgrk.bappenas.go.id/rangrk/admincms/downloads/publications/Pedoman_teknis_penghitungan_baseline_emisi_GRK_sektor_berbasis_energi.pdf)
- Damiri, D. J., Legino, S., & Amboro, S. (2019). Engineering design development of 52,5 KiloWatt peak solar photovoltaic system for industrial Rooftop building. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3), 033087. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033087>
- Dewan Energi Nasional. (2019). *Outlook Energi Indonesia 2019*. DEN. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>

- Ermin, E., Sunardi, S., & Fadlil, A. (2020). Penerapan Metode Weight Product Pada Penentuan Penerimaan Karyawan. *CYBERNETICS*, 4(01), 9. <https://doi.org/10.29406/cbn.v4i01.2074>
- Gumintang, M. A., Sofyan, M. F., & Sulaeman, I. (2020). *Design and Control of PV Hybrid System in Practice*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=E70TMuwXjvnthjJx2IIPbmNPyaJB791M&mode=list&download=1>
- ICED II. (2020). *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS ATAP DI INDONESIA*. Tetra Tech ES., Inc.,. <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=XOegh8pXO9FMjebI4x0joDD6hIZe94Fm>
- IRENA. (2022). Renewable Power Generation Cost in 2021. Dalam *International Renewable Energy Agency*. International Renewable Energy Agency. <https://www.apren.pt/contents/publicationsothers/irena-power-generation-costs-2021-pags1-7.pdf>
- Islam, M. M., H, R. M., Redoy, S. A., & Chowdhury, T. H. (2020). Analizing And Optimizing The Orientation of Solar Cells Using Helioscope Technology. *International Journal of Advanced Reaserch and Review*, 50–60. [https://www.researchgate.net/publication/343223958\\_Analyzing\\_and\\_Optimizing\\_the\\_orientation\\_of\\_Solar\\_Cells\\_using\\_HELIOSCOPE\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/343223958_Analyzing_and_Optimizing_the_orientation_of_Solar_Cells_using_HELIOSCOPE_Technology)
- Li, H. X., Zhang, Y., Edwards, D., & Hosseini, M. R. (2020). Improving the energy production of roof-top solar PV systems through roof design. *Building Simulation*, 13(2), 475–487. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0585-6>
- Nguyen, T., & Van, P. (2018). Design, Simulation and Economic Analysis of A Rooftop Solar PV System in Vietnam. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 168504. <https://doi.org/10.4108/eai.27-1-2021.168504>
- Rahman, Y. A., Pamuso, M., Fauzi, R., & Siswanto, A. (2022). Performansi Grid Tie Inverter dengan Variasi Pembebanan pada PV-on Grid Module Trainer. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(2), 287. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i2.287>
- Sowe, S., Ketjory, N., Thanarak, P., & Suriwong, T. (2014). Technical and Economic Viability Assessment of PV Power Plants for Rural Electrification in the Gambia. *Energy Procedia*, 52, 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.091>

Analisis Desain PLTS Atap Tipe *Gable Roof* menggunakan Metode *Weight Score*

Valentin Software GmbH. (2022). *PV\*SOL Database*. <https://pvsol-database.valentin-software.com/>