



ANALISA DAYA PADA PANEL SURYA DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *ROOFTOP ON GRID* KAPASITAS 30 KVA GEDUNG KANTOR PT. ENERGI LISTRIK BATAM

Pamor Gunoto¹⁾, Harlei Davisson Hutapea²⁾

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan

Email: pamorgunoto@ft.unrika.ac.id, hutapeadavid350@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan energi surya menjadi energi listrik dengan teknologi panel surya (Solar PV) mengalami perkembangan yang sangat pesat dan Indonesia sebagai negara yang secara geografis memiliki intensitas cahaya matahari yang tinggi (*irradiance*). Dengan potensi alam tersebut, pemerintah mendukung penggunaan PLTS *rooftop on grid* melalui kebijakan PERMEN ESDM No 48 tahun 2018. Berlandaskan kebijakan yang bersifat teknis itu PT. Energi Listrik Batam (PT.ELB) membangun sebuah sistem PLTS *rooftop on grid* berkapasitas 30 KVA pada gedung kantor PT. ELB dengan tujuan penghematan biaya tagihan listrik gedung kantor dan telah beroperasi selama dua tahun. Panel surya TRINA SOLAR 340 WP sebanyak 90 lembar panel merupakan alat yang digunakan dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik DC (Direct Current) pada PLTS *rooftop on grid* ini. Analisa daya terhadap panel surya tersebut dimaksudkan untuk mengetahui nilai efisiensi panel surya terhadap intensitas cahaya matahari yang diterima dan *losses* daya akibat temperatur permukaan panel surya yang panas, dimana dua hal tersebut sangat mempengaruhi ketercapaian panel surya dalam menghasilkan energi listrik sesuai kapasitas desainnya. Oleh karena itu perlu dilakukan serangkaian kegiatan penelitian dengan melakukan pengukuran terhadap parameter operasi panel surya diantaranya : nilai daya, arus, tegangan, *irradiance* dan temperatur Solar PV. Selanjutnya berdasarkan nilai parameter tersebut dilakukan perhitungan dan analisa sehingga didapatkan hasil akhir bahwa PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. ELB masih dapat mencapai kapasitas desainnya yaitu 30 kW meskipun berdasarkan hasil perhitungan mengalami penurunan efisiensi dari yang seharusnya 17% (Data sheet specification TRINA SOLAR 340 WP) menjadi 15.4 % yang diakibatkan oleh kenaikan temperatur permukaan panel surya yang cukup panas mencapai 53°C. Temperatur permukaan Solar PV yang semakin panas akan menyebabkan penurunan energi listrik yang dihasilkan, tetapi dalam penelitian ini PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. ELB masih dapat mencapai kapasitasnya 30 kW akibat dari nilai intensitas cahaya matahari (*irradiance*) yang diterima cukup tinggi yaitu terukur dengan nilai 1300 watt/m².

Kata Kunci : PLTS *rooftop on grid* , Panel surya TRINA SOLAR 340 WP, Efisiensi panel surya, Losses daya, Intensitas cahaya matahari (*irradiance*), Temperatur panel surya

ABSTRACT

Utilization of solar energy into electrical energy with solar panel technology (Solar PV) is developing very rapidly and Indonesia as a country that geographically has high sunlight intensity (irradiance) sees the natural potential so that the government supports the use of solar power plan rooftop on grid through the policy of PERMEN ESDM No. 48 at 2018. Based on this technical policy, PT. Energi Listrik Batam (PT.ELB) built a solar power plan rooftop on grid system with capacity 30 KVA in the office building to purposefor saving office building electricity bills and has been operating for two years. TRINA SOLAR 340 WP solar panels of 90 panels are tools used to convert solar energy into DC (Direct Current) electrical energy in solar power plan rooftop on grid. The power analysis on the solar panels to determine the efficiency of solar panels on the intensity of sunlight received and power losses due to the hot surface temperature of the solar panels, where these two things greatly affect the achievement of solar panels in producing electrical energy according to their design capacity. Therefore, research activities by measuring the operating parameters of solar panels including: the value of power, current, voltage, irradiance and temperature of Solar PV, then based on the value of these parameters, calculations and analysis are carried out so that the final result is that solar power plan rooftop on grid at office building PT.ELB is still able to achieve its design capacity of 30 kW although based on the calculation results, the efficiency has decreased from the supposed 17% (Data sheet Specification TRINA SOLAR 340 WP) to 15.4% due to the increase in the surface temperature of the solar panel which is reach 53°C. The hotter surface temperature of Solar PV will cause a decrease in the electrical energy produced, but in this research the rooftop PLTS on grid PT.ELB office building can still reach its capacity of 3 kW due to the high value of solar light intensity (irradiance) which is measured with a value of 1300 watts/m².

Keywords: *PLTS rooftop on grid, Solar PV TRINA SOLAR 340 WP, Solar pv efficiency, Losses power, Irradiance, Temperature surface of solar PV.*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi surya menjadi energi listrik dengan teknologi Solar PV terus mengalami perkembangan yang sangat pesat hal ini ditunjukkan oleh data *Annual report photovoltaic power system programmed 2020* yang dirilis oleh IEA (*International Energy Agency*) dimana kapasitas daya terpasang PLTS secara global tahun 2019 telah mencapai

512 *Gigawatt* sekitar 3% dari permintaan listrik dunia [1].

Berdasarkan data kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral potensi pengembangan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) di Indonesia mencapai 207.8 GWp denganrealisasi mencapai 0.15 GWp [2] hal ini menunjukkan peluang yang sangat besar dalam bidang pemanfaatan energi tenaga surya di Indonesia mengingat perkembangan teknologi panel surya (*solar PV*) yang terus mengalami kemajuan sebagai respon dunia internasional yang mengharapkan energi tenaga surya sebagai solusi terhadap penggunaan energi yang ramah lingkungan. Sejalan dengan hal itu pemerintah Indonesia melalui kementerian ESDM mengeluarkan PERMEN ESDM Nomor 48 tahun 2018 yang mengatur penggunaan sistem PLTS atap (*rooftop*) [3] sehingga masyarakat atau badan usaha pengguna energi listrik dapat dipermudah dalam memanfaatkan energi surya menjadi energi listrik untuk pemakaian sendiri.

Saat ini PT. Energi listrik batam (PT.ELB) menggunakan PLTS *rooftop* berkapasitas 30 KVA sebagai alternatif penghematan konsumsi energi listrik gedungkantor dimana disain sistem kelistrikan PLTS ini terhubung pada *grid* atau jaringan kelistrikan PLN kota Batam. PLTS *rooftop on grid* ini telah beroperasi selama hampir dua tahun sejak dilakukan *commissioning* pada september 2019. Berdasarkan data metering kwh yang tercatat telah menghasilkan energi listrik 82.000 kwh namun belum pernah dilakukan evaluasi terhadap kemampuan daya yang dihasilkan oleh panel surya (*Solar PV*) PLTS *rooftop on grid* ini. Maka dari itu diperlukan analisa daya yang dihasilkan oleh PLTS terpasang tersebut terhadap daya yang dihasilkan saat ini.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Operasi PLTS Dalam Menghasilkan Daya

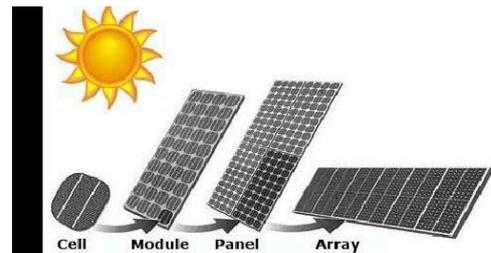
Berdasarkan SNI 8395:2017 PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik.[4] Sistem foto fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik semakin tinggi intensitas radiasi (*iradiasi*) matahari yang mengenai sel fotovoltaik maka semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya. Dengan kondisi penyinaran matahari di indonesia yang terletak di daerah tropis dan garis katulistiwa maka PLTS menjadi salah satu teknologi penyedia listrik yang potensial untuk diaplikasikan.

2.2 Komponen PLTS *Rooftop on grid*

Komponen dan perlatan utama yang digunakan pada PLTS *Rooftop on grid* gedung kantor utama antara lain :

1. Panel surya (*Solar PV*)

Merupakan rangkaian modul surya fotovoltaik yang mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik.



Gambar 1. Panel sel surya

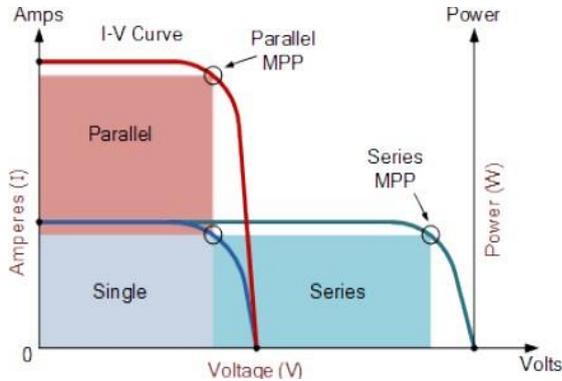
Untuk meningkatkan output daya pemasangan panel surya digabungkan dan dihubungkan secara seri atau paralel yang disebut *arrayphotovoltaic* untuk menciptakan keluaran tegangan dan arus yang diinginkan. Pemasangan secara seri meningkatkan nilai tegangan dan secara paralel meningkatkan nilai arus seperti ilustrasi gambar 2 dibawah ini.

5. Beban Listrik/Peralatan listrik Merupakan berbagai peralatan listrik yang mengkonsumsi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS.

2.3 Rumus Perhitungan PLTS

Dalam analisa PLTS Rooftop on grid ini diberikan beberapa rumus sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan output daya panel surya, pemasangan panel surya dihubungkan secara seri atau paralel. Pemasangan secara seri meningkatkan nilai tegangan dan secara paralel meningkatkan nilai arus.



Gambar 2. Ilustrasi hubungan pemasangan panel surya terhadap tegangan dan arus

2. Inverter

Alat yang berfungsi mengubah input tegangan DC langsung dari panel surya fotovoltaik menjadi output tegangan AC sekaligus mensinkronkan sistem kelistrikan PLTS dan jaringan listrik PLN.

Saat ini di sistem di PLTS Rooftop PT. Energi Listrik Batam menggunakan inverter tipe FIMER TRIO -27.6-TL-OUTD-S2X-400/JP.



Gambar 3. Inverter PLTS Rooftop on grid kapasitas 30 KVA

3. Kwh Meter Ekspor – Impor
 Berfungsi untuk mengukur arus listrik yang masuk dan keluar dari jaringan distribusi PLN.
4. Jaringan Distribusi PLN
 Sebagai penyedia listrik saat sistem PLTS tidak beroperasi dan penerima arus listrik ekspor saat sistem PLTS kelebihan energi listrik.

$$J_s = \frac{V_{inv}}{V_{mf}}$$

J_s = Jumlah seri modul PV
 V_{inv} = Tegangan masukan inverter (volt)
 V_{mf} = Tegangan maksimum modul (volt)

2. Daya total dari panel surya dapat diperoleh dari :

$$J_p = \frac{P'_{gpv}}{V_{gv} \cdot I_{mf}}$$

J_p = Jumlah string pada panel
 P'_{gpv} = Daya modul panel surya (watt)
 V_{gv} = Tegangan panel surya (volt)
 I_{mf} = Arus maksimum panel surya (ampere)

3. Daya yang dikeluarkan panel surya juga dipengaruhi oleh temperatur dimana kenaikan temperatur dapat menurunkan rating fotovoltaik sehingga mengurangi daya output yang dapat dihasilkan dan juga intensitas radiasi (*irradiance*) yang diterima panel surya :

$$P_{in} = I_r \cdot A$$

P_{in} = Daya input akibat *irradiance* matahari
 I_r = Intensitas radiasi matahari (watt/m²)

A = Luas permukaan panel surya (m^2)

4. Efisiensi panel surya dapat diketahui yaitu :

$$\eta = \frac{V \cdot I}{G \cdot A}$$

η = Efisiensi panel surya
 V = Tegangan keluaran instalasi PV (volt)
 I = Arus keluaran instalasi (ampere)
 G = Iradiasi matahari ($watt/m^2$)
 A = Luas instalasi PV (m^2)

5. Menentukan beban total dalam Watt hours (Wh)
 $EB = \text{Daya} \times \text{Lama penggunaan PLTS}$

EB = Beban Total (Wh)

6. Beban sistem yang dipakai adalah

$$EA = 33,3\% \times EB$$

EA = Beban sistem

7. Asumsi rugi-rugi daya

Asumsi rugi-rugi daya pada sistem dianggap 15% karena sistem masih baru (Abdul Hafid dkk, 2017)

$$ET = EA \times \text{rugi-rugi sistem}$$

$$= EA \times (15\% \times EA)$$

ET = Total pemakaian energi

EA = Beban sistem

8. Perhitungan daya output modul surya

$$P_{\text{modul surya}} = \frac{ET}{\text{Insolasi matahari}} \times 1,1$$

$P_{\text{modul surya}}$ = Daya output modul surya
 ET = Total pemakaian energi

9. Perhitungan besar arus BCR (Battery Charge Regulator)

$$I_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{V_s}$$

I_{max} = Arus maksimum

P_{max} = Daya maksimum

V_s = Tegangan sistem baterai

10. Perhitungan kapasitas baterai

$$AH = \frac{ET}{V_s}$$

AH = Kuat arus per jam (Ah)

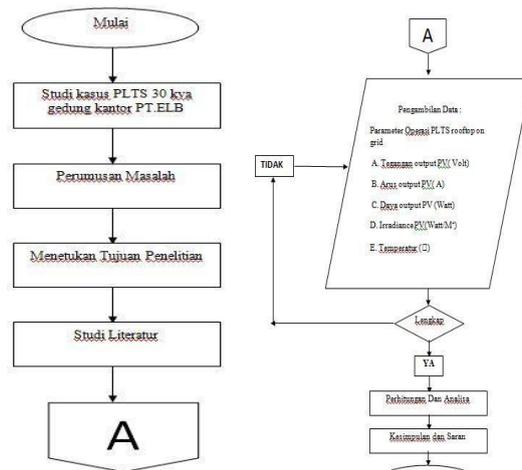
ET = Energi sistem

V_s = Tegangan sistem baterai

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam melakukan dan analisa pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, berikut adalah gambaran umum tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah :



Gambar 4. Diagram alir penelitian

1. Studi Kasus

Studi kasus di pembangkit listrik tenaga surya *rooftop on grid* kapasitas 30KVA gedung kantor PT. Energi Listrik Batam dilakukan untuk mengamati sistem operasi PLTS sehingga penulis dapat menentukan permasalahan yang dapat diangkat sebagai objek penelitian.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah adalah munculnya masalah yang ada pada PLTS *Rooftop on grid* sehingga perlu diketahui penyebab nya

3. Menentukan Tujuan

Menentukan target akhir dari penelitian yang

akan dilaksanakan

4. Studi Literatur

Mencari informasi dan mempelajari materi yang berhubungan dengan objek penelitian.

5. Pengambilan Data

Melakukan pengambilan data kuantitatif pada objek penelitian dan memiliki kelengkapan data yang diambil sebagai bahan analisa.

6. Perhitungan dan Analisa

Proses perhitungan menggunakan rumus berdasarkan teori yang sudah ada untuk mendapatkan nilai atau data yang berguna sebagai bahan yang akan di analisa .

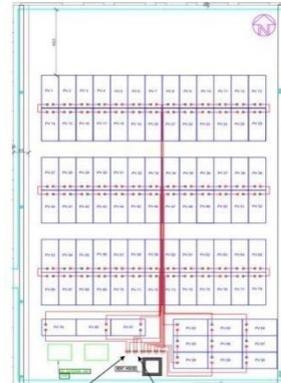
7. Kesimpulan dan Saran

Penelitian dapat menyimpulkan penyebab suatu permasalahan dari hasil perhitungan dan analisa dan akan memberikan beberapa saran yang mampu merubah permasalahan tersebut menjadi lebih baik.

3.2 Tempat dan Jadwal Penelitian

Penelitian berlangsung pada sistem pembangkit listrik tenaga surya *rooftop ongrid* milik PT. Energi Listrik Batam yang dibangun dengan tujuan penghematan biaya konsumsi energi listrik pemakaian sendiri gedung kantor. Sistem PLTS ini berkapasitas 30 KVA dengan terkoneksi pada jaringan listrik PLN (*on grid*), sejak berhasil melalui tahapan *commisioning* PLTS ini telah menghasilkan energi listrik sejumlah kurang lebih 80.000 Kwh. Sampai saat ini masih beroperasi mensuplai listrik kebutuhan gedung kantor berlantai 4 dengan posisi instalasi panel surya berada di lantai 4 dan ruang sistem kelistrikan PLTS berada di lantai 1

Waktu penelitian akan dilakukan selama 10 hari operasional PLTS *Rooftop on grid* secara kontinu yaitu dari tanggal 28 Juli 2021 sampai dengan 10 agustus 2021.



Gambar 5. Array panel surya kapasitas 30 KVA

Waktu penelitian akan dilakukan selama 10 hari operasional PLTS *Rooftop on grid* secara kontinu yaitu dari tanggal 28 Juli 2021 sampai dengan 10 agustus 2021.

3.3 Analisa data

Analisa data dilakukan setelah proses pengambilan data operasi PLTS dilakukan selama 10 hari. Selanjutnya data tersebut digunakan sebagai bahan perhitungan menggunakan persamaan – persamaan yang telah ditetapkan pada standar PLTS *rooftop on grid*, hasil yang didapatkan menjadi bahan analisa dan perbandingan dengan data spesifikasi perancangan PLTS sehingga diharapkan kumpulan data – data hasil perhitungan dan analisa tersebut dapat menunjukkan kondisi daya yang dihasilkan sistem PLTS saat ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan dan Perhitungan Data Operasi PLTS

Kegiatan pengambilan data dilakukan selama 14 hari diawali pada tanggal 28 Juli 2021 sampai dengan tanggal 10 Agustus 2021 dengan rentang waktu (delapan) 8 jam operasi PLTS dimana berdasarkan pengamatan penulis secara visual terhadap kondisi intensitas cahaya (*irradiance*) dan parameter operasi PLTS maka penulis menetapkan pengambilan data dilakukan per 1 (satu) jam dimulai dari pukul 08.00 wib sampai dengan pukul 16.00 wib rentang waktu ini merupakan kondisi pencahayaan matahari yang stabil sehingga pengambilan data dapat dilakukan

dengan baik dan akurat .

Data operasi PLTS yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Data Intensitas cahaya matahari (*irradiance*) satuan Watt/m²
2. Data Temperatur panel surya (*solarPV*) satuan °Celsius
3. Data daya yang dihasilkan oleh panel surya (*solar PV*) satuan Watt
4. Data tegangan yang dihasilkan panel surya (*solar PV*) satuan Volt
5. Data arus yang dihasilkan panel surya (*solar PV*) satuan ampere

Waktu penelitian akan dilakukan selama 10 hari operasional PLTS *Rooftop on grid* secara kontinu yaitu dari tanggal 28 Juli 2021 sampai dengan 10 agustus 2021.



Gambar 5. Pengukuran data *irradiance* matahari

Data operasi diatas didapat dengan melakukan pengukuran secara langsung dan pengambilan data pada *display panel* di peralatan sistem PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. Energi Listrik Batam. Untuk data Intensitas cahaya matahari (*irradiance*) dilakukan pengukuran dengan alat ukur *Solar Power Meter* SM 206 dan untuk data temperatur panel surya dilakukan pengukuran dengan alat ukur *Fluke 62max+ IRthermometer*.



Gambar 6. Alat ukur *Solar Power meter* dan *Infrared thermometer*

Data parameter – parameter yang disebutkan diatas selanjutnya dikumpulkan dalam bentuk tabel data hasil pengukuran yang merupakan data awal untuk bahan perhitungan dan analisa daya yang dibangkitkan oleh panel surya TRINA SOLAR340 Wp pada PLTS *rooftop on grid* Gedung kantor PT. Energi Listrik Batam, adapun *data sheet* spesifikasi panel surya (*Solar PV*) yang diteliti sebagai berikut :

Tipe Panel surya	: TRINA SOLAR TSM-PE14H 340
Cell Material	: Multicrystalline, 156.75X78.375 mm
Cell	: 144 cell
Maximum power (P _{max})	: 340 Wp

$$\text{Efisiensi panel surya}(\eta_{PV}) = \frac{V \cdot I}{G \cdot A}$$

Max Voltage (V _{mp})	: 37.6 Volt
Max current (I _{mp})	: 9.02 Ampere
Module Efisiensi	: 17.1%
Temp coefficient of P _{max}	: -0.41% / °C
Operating temp range	: -40°C to +85°C

Untuk mengetahui nilai efisiensi dari daya yang dibangkitkan oleh panel surya dan losses daya akibat kenaikan temperatur panel surya maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- a. Efisiensi panel surya adalah :
 - η_{PV} : Efisiensi panel surya (%)
 - V : Tegangan (Volt)
 - I : Arus (A)
 - G : intensitas matahari *irradiance* (watt/m²)



A : Luas area panel surya (m²)

b. Losses daya

$$\text{Losses daya} = (\text{Temp PV} - \text{Temp STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{\max}$$

Dimana ;

Temp PV : suhu permukaan panel surya (°C)

Temp STC : suhu panel spesifikasi pengujian pabrik (°C)

0.41% : nilai koefisien spesifikasi pabrik

P_{max} : Daya output panel surya

Persamaan Efisiensi panel surya (ηPV) dimaksudkan untuk mengetahui persentase kemampuan panel surya menghasilkan daya listrik terhadap pancaran energi sinar matahari yang tersedia atau diterima oleh permukaan panel surya dan persamaan losses dayadigunakan dalam penelitian ini mengingat karakteristik panel surya yang dijelaskan dalam data sheet pabrikan mengalami penurunan kemampuan menghasilkan daya listrik akibat temperature permukaan panel surya yang meningkat kedua persamaan tersebut akan menghasilkan sejumlah data yang diperlukan dalam proses analisa dan setelah dilakukan serangkaian kegiatan penelitian maka didapatkan data operasi PLTS dan hasil pengukuran serta perhitungan sebagai berikut pada tabel 1 dibawah ini :

WAKTU	DAYA(W)	LUAS PV (M ²)	IRRADIANSI (WATT/M ²)	TEMP PV(°c)	ARUS (A)	TEGANGAN (V)
08.00	16.009	159.3	598	29	29	539
09.00	24.875	159.3	941	32	46	534
10.00	25.578	159.3	1018	41	49	520
11.00	29.062	159.3	1161	46	54	529
12.00	29.997	159.3	1218	51	57	526
13.00	29.964	159.3	1265	53	58	516
14.00	24.659	159.3	1005	50	47	521
15.00	22.688	159.3	907	43	43	525
16.00	7.426	159.3	301	39	14	510

Tabel 4.1 Tabel hasil pengukuran tanggal 10 agustus 2021

Perhitungan Efisiensi panel dan losses daya akibat kenaikan temperatur panel surya surya sebagai berikut :

• Perhitungan data pukul 08.00 wib

$$\begin{aligned} \eta_{Pv} &= (V.I) / (G.A) \\ &= (539 \text{ V} \cdot 29 \text{ A}) / (598 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2) \\ &= \mathbf{16.8\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses Daya} &= (\text{Temp PV} - \text{Temp STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{\max} \\ &= (29^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 16.009 \text{ watt} \\ &= \mathbf{262 \text{ watt}} \end{aligned}$$

• Perhitungan Data Pukul 09.00 wib

$$\begin{aligned} \eta_{Pv} &= (V.I) / (G.A) \\ &= (534 \text{ V} \cdot 46 \text{ A}) / (941 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2) \\ &= \mathbf{16.6\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses Daya} &= (\text{Temp PV} - \text{Temp STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{\max} \\ &= (32^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 24.875 \text{ watt} \\ &= \mathbf{713 \text{ watt}} \end{aligned}$$

• Perhitungan Data Pukul 10.00 wib

$$\begin{aligned} \eta_{Pv} &= (V.I) / (G.A) \\ &= (520 \text{ V} \cdot 49 \text{ A}) / (1,018 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2) \\ &= \mathbf{15.7\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses Daya} &= (\text{Temp PV} - \text{Temp STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{\max} \\ &= (41^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 25.578 \text{ watt} \\ &= \mathbf{1.677 \text{ watt}} \end{aligned}$$

• Perhitungan Data Pukul 11.00 wib

$$\begin{aligned} \eta_{Pv} &= (V.I) / (G.A) \\ &= (529 \text{ V} \cdot 54 \text{ A}) / (1,161 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2) \\ &= \mathbf{15.7\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Losses Daya} &= (\text{Temp PV} - \text{Temp STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{\max} \\ &= (46^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 29.062 \text{ watt} \\ &= \mathbf{542 \text{ watt}} \end{aligned}$$

29.062 watt

= **2.502 watt**

- Perhitungan Data Pukul 12.00 wib
 $\eta_{Pv} = (V.I) / (G.A)$
 $= (526 \text{ V} \cdot 57 \text{ A}) / (1,218 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2)$
= 15.4%

Loses Daya = $(Temp \text{ PV} - Temp \text{ STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{max}$
 $= (51^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 29.997 \text{ watt}$
= 3.197 watt

- Perhitungan Data Pukul 13.00 wib
 $\eta_{Pv} = (V.I) / (G.A)$
 $= (516 \text{ V} \cdot 58\text{A}) / (1,265 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2)$
= 14.9%

Loses Daya = $(Temp \text{ PV} - Temp \text{ STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{max}$
 $= (53^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 29.964 \text{ watt}$
= 3.439 watt

- Perhitungan Data Pukul 14.00 wib
 $\eta_{Pv} = (V.I) / (G.A)$
 $= (521 \text{ V} \cdot 47\text{A}) / (1,005 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2)$
= 15.4%

Loses Daya = $(Temp \text{ PV} - Temp \text{ STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{max}$
 $= (50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 24.659 \text{ watt}$
= 2.527 watt

- Perhitungan Data Pukul 15.00 wib
 $\eta_{Pv} = (V.I) / (G.A)$
 $= (525 \text{ V} \cdot 43\text{A}) / (907 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2)$
= 15.7%

Loses Daya = $(Temp \text{ PV} - Temp \text{ STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{max}$
 $= (43^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot$

22.688 watt

= **1.674 watt**

- Perhitungan Data Pukul 16.00 wib
 $\eta_{Pv} = (V.I) / (G.A)$
 $= (510 \text{ V} \cdot 14\text{A}) / (301 \text{ Watt/M}^2 \cdot 159.3 \text{ M}^2)$
= 15.4%

Loses Daya = $(Temp \text{ PV} - Temp \text{ STC}) \cdot 0.41\% \cdot P_{max}$
 $= (39^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \cdot 0.41\% \cdot 7.426 \text{ watt}$
= 426 watt

Data hasil perhitungan dalam bentuk tabel 2 sebagai berikut :

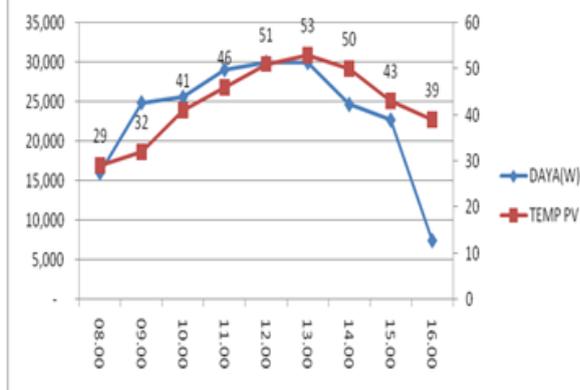
Tabel 2. Data perhitungan loses daya setiap jam

WAKTU	DAYA(W)	EFISIENSI PV (%)	LOSSES (%)	LOSSES DAYA(WATT)
08.00	16.009	16.8%	1.6%	262
09.00	24.875	16.5%	2.8%	713
10.00	25.578	15.7%	6.5%	1.677
11.00	29.062	15.7%	8.6%	2.502
12.00	29.997	15.4%	10.6%	3.197
13.00	29.964	14.8%	11.4%	3.439
14.00	24.659	15.4%	10.2%	2.527

4.2 Analisa Berdasarkan Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan

Data yang diambil pada analisa ini yaitu data pada tanggal 10 Agustus 2021.

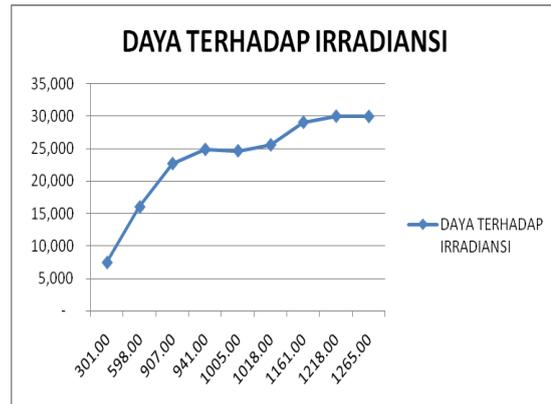
1. Grafik perubahan daya dan temperatur panel surya dalam rentang waktu pukul 08.00 wib sampai dengan pukul 16.00 wib.



Gambar 7. Grafik daya dan temperatur matahari

Analisa grafik perubahan daya terhadap intensitas cahaya matahari (*irradiance*) dalam rentang waktu pukul 08.00 wib sampai dengan pukul 16.00 wib.

Dari grafik perubahan daya diatas dapat dilihat karakteristik daya yang terus meningkat sebanding dengan peningkatan intensitas cahaya (*irradiance*) hal ini menunjukkan sesuai dengan prinsip kerja PLTS dimana cahaya matahari yang diterima oleh permukaan panel surya membangkitkan sejumlah energi listrik. Peningkatan intensitas cahaya yang diterima berbanding lurus dengan peningkatan jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan. Karakteristik daya yang dihasilkan sistem PLTS *rooftop on grid* bukan merupakan daya output yang stabil dan sangat terpengaruh oleh perubahan intensitas cahaya matahari yang kapan saja dapat berubah dengan cepat sehingga berpotensi merusak peralatan listrik yang terhubung sebagai beban, berdasarkan kondisi ini maka daya yang dihasilkan panel surya harus terhubung atau sinkron dengan jaringan listrik yang lebih stabil.

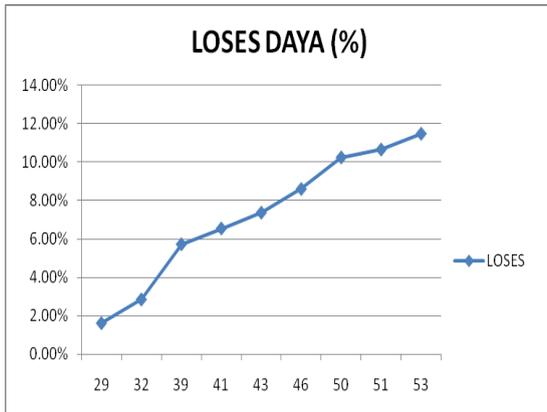


Gambar 8. Grafik irradiansi dan temperatur matahari

2. Grafik perubahan intensitas cahaya matahari dan temperatur panel surya dalam rentang waktu pukul 08.00 wib sampai dengan pukul 16.00 wib.

Data perubahan intensitas cahaya matahari (*irradiance*) dan temperatur panel surya diatas merupakan perubahan aktual dilokasi panel surya PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT.Energi Listrik Batam setelah dilakukan pengukuran didapatkan nilai intensitas tertinggi ± 1300 watt/M² dan nilai temperatur panel surya tertinggi pada 53°C. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pola intensitas cahaya terus meningkat sampai dengan puncaknya pada pukul 12.00 wib – 13.00 wib dimana posisi matahari tepat tegak lurus dengan permukaan panel surya selanjutnya intensitas cahaya mengalami penurunan menjelang sore hari seiring dengan terbenamnya matahari pola perubahan intensitas cahaya ini juga indentik dengan perubahan temperatur panel surya dimana terjadi peningkatan suhu permukaan panel surya seiring dengan peningkatan intensitas cahaya namun demikian berdasarkan pengamatan penulis perubahan kedua parameter tersebut juga tergantung pada kondisi awan dilokasi panel surya terpasang dimana pergerakan dan jumlah awan yang menghalangi sinar matahari sangat berdampak terhadap penurunan intensitas matahari dan permukaan panel surya mengalami penurunan temperatur.

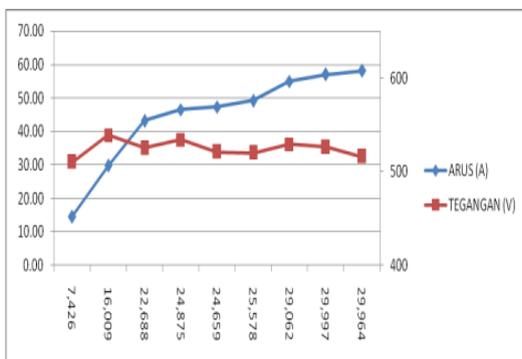
3. Grafik data hubungan arus dan tegangan terhadap daya PLTS.



Gambar 9. Grafik arus dan tegangan terhadap perubahan daya

Berdasarkan grafik hubungan arus dan tegangan terhadap daya diatas dapat dilihat peningkatan arus yang cukup signifikan terhadap kenaikan sejumlah daya yang dihasilkan PLTS sedangkan nilai tegangan cenderung stabil meskipun terdapat perubahan namun masih dalam rentang nilai yang berdekatan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besarnya nilai daya dihasilkan adalah dikarenakan semakin meningkatnya nilai arus listrik yang diserap oleh beban jaringan, mengingat daya listrik yang diproduksi bergantung pada nilai intensitas cahaya maka nilai arus juga akan mengalami penurunan yang dratis apabila terjadi penurunan intensitas cahaya.

4. Grafik data *losses* terhadap perubahan temperatur.



Gambar 10. Grafik *losses* daya terhadap perubahan temperatur

Pada spesifikasi panel surya yang terpasang terdapat nilai koefisien temperatur panel surya terhadap daya yang ditetapkan oleh pabrikan panel surya tersebut yaitu pada $-0.41\%/^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi sejumlah penurunan daya akibat temperatur permukaan panel surya yang semakin panas, dan setelah dilakukan pengukuran terhadap permukaan panel surya dan perhitungan terhadap nilai koefisien temperatur tersebut maka didapatkan pola peningkatan *losses* daya seiring dengan peningkatan temperatur permukaan panel surya seperti grafik diatas.

Peningkatan intensitas cahaya matahari identik dengan peningkatan temperatur panel surya namun dalam hubungannya dengan terhadap daya yang dihasilkan berbanding terbalik dimana peningkatan intensitas cahaya matahari menyebabkan peningkatan daya output panel sedangkan peningkatan temperatur panel mengakibatkan hilangnya sejumlah daya.

5. Berdasarkan tabel 1 perhitungan efisiensi daya panel surya maka didapatkan hasil bahwa dalam rentang operasi PLTS selama 8 jam tidak dapat mencapai nilai efisiensi panel surya sesuai spesifikasi yaitu pada nilai efisiensi 17.1%. Hal ini diakibatkan oleh terjadinya *losses* daya akibat peningkatan temperatur permukaan panel surya yang semakin panas namun *losses* daya yang ada sudah dijelaskan pada spesifikasi produk panel surya bahwa hal ini dapat terjadi dengan rentang koefisien temperatur $-0.41\%/^{\circ}\text{C}$ yang menjadi acuan penelitian ini dalam melakukan perhitungan sehingga didapatkan data *losses* seperti tabel diatas. Setelah dilakukan penelitian diketahui meskipun terdapat *losses* daya akibat kenaikan temperatur panel surya namun sistem PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. Energi Listrik Batam masih dapat mencapai daya kapasitas desainnya yaitu 30 kW, hal ini dikarenakan nilai intensitas cahaya matahari (*irradiance*) yang cukup tinggi $\pm 1300 \text{ watt/m}^2$ dalam rentang waktu pukul 11.00 wib sampai dengan pukul 13.00 wib dan pada kondisi intensitas awan yang rendah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut ;

WAKTU	DAYA(W)	EFISIENSI PV (%)	LOSSES (%)	LOSSES DAYA(WATT)
08.00	16.009	16.8%	1.6%	262
09.00	24.875	16.5%	2.8%	713
10.00	25.578	15.7%	6.5%	1.677
11.00	29.062	15.7%	8.6%	2.502
12.00	29.997	15.4%	10.6%	3.197
13.00	29.964	14.8%	11.4%	3.439
14.00	24.659	15.4%	10.2%	2.527
15.00	22.688	15.7%	7.3%	1.674
16.00	7.426	15.4%	5.7%	426

1. Setelah dilakukan analisa berdasarkan pengukuran langsung dan pengambilan data operasi PLTS maka didapatkan sistem PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. Energi Listrik Batam dapat mencapai kapasitas desainnya yaitu 30 kW.

2. Terjadi penurunan efisiensi panel surya akibat temperatur panel surya yang panas 15.4% hal ini menyebabkan adanya *losses* daya namun sistem PLTS tetap dapat mencapai kapasitasnya akibat dari intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi dilokasi terpasangannya panel surya dengan nilai maksimum 1.300 Watt/m² pada rentang waktu pukul 12:00 sampai dengan pukul 13.00 wib. Kondisi ini selalu berubah-ubah dipengaruhi oleh intensitas cuaca dan awan sehingga perubahan irradiansi matahari dan temperatur panel surya menyebabkan daya yang dihasilkan sangat bervariasi dan variasi daya tersebut berbanding lurus dengan perubahan nilai arus (0 – 57A) sedangkan nilai tegangan cenderung stabil meskipun terdapat perubahan namun dalam rentang nilai yang pendek yaitu pada 500 sampai 540 volt.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Penelitian ini dapat dikembangkan

dengan melakukan pengujian dan perhitungan untuk desain sistem pendingin panel surya mengingat temperatur panel surya yang panas dapat mengakibatkan *losses* daya output panel surya yang cukup besar.

2. Pada sistem PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. Energi Listrik Batam sebaiknya dipasang alat pengukur intensitas cahaya matahari (*Solar Irradiance Meter*) yang permanen sehingga dapat dilakukan monitoring secara berkala perubahan daya yang dihasilkan oleh panel surya akibat perubahan nilai intensitas cahaya matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEA (*International Energy Agency*), April 2021, *Annual report photovoltaic power system programmed 2020* <https://iea-pvps.org/wp-content>.
- [2] Kementerian ESDM RI, 13 Maret 2020, *Potensi Pengembangan PLTS di Indonesia* <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/03/13/2508/>
- [3] Kementerian ESDM RI, 15 November 2018, *PERMEN ESDM NO 48 Tentang Penggunaan Sistem PLTS Atap Oleh Konsumen PT. PLN.*
- [4] Badan Standardisasi Nasional, 06 Juni 2017, *Panduan Kelayakan Pembangunan PLTS Potovoltaik.*
- [5] Zukifli, Oktober 2020 *Analisa Kinerja PLTS rooftop on grid Pada Gedung Pemerintah dalam skema Ekspor – Impor Energi Studi Kasus : Gedung Kantor Setjen KESDEM -Jakarta*
- [6] Ellena Wulandari, Rachmawan Budiarto, 2015, *Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Komunal Untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Pada Lima Desa di Indonesia Periode Tahun 2015*
- [7] Roma Gustiawan, Endang Susanti, Pamor Gunoto, November 2019, *Perancangan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif untuk Penerangan Lobbi Fakultas Teknik Unrika*
- [8] Adam Satrio, Dr. Rhido hantoro, ST, MT, Januari 2017, *Analisa Performansi PLTS Melalui Rancang Bangun Serta Pengukuran dengan Sensor Solar Irradiance dan Temperatur*



- [9] USAID (*United State Agency International Development*) dan kementerian ESDM, Juni 2020, buku *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap*
- [10] ABB, 18 Mei 2021, *Manual book Inverter FIMER-TRIO-20.0-27.6-TL-OUTD*
- [11] TRINA SOLAR, 2018, Data sheet panel surya TRINA SOLAR 340 WP
- [12] Eko Wuri, September 2019, Dokumen konstruksi dan komisioning PLTS *rooftop on grid* gedung kantor PT. Energi Listrik Batam.