

Optimalisasi Pemanfaatan *Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic (SPV)* Sebagai Pengembangan *Green Energy System* di Gedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang

Harmini¹, Titik Nurhayati²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Semarang¹

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Semarang²

*harmini@usm.ac.id¹, titiknur@usm.ac.id²

ABSTRACT

Faculty of Engineering, University of Semarang has the potential to install a Grid Connected solar photovoltaic (SPV) rooftop. This SPV is capable of producing electrical energy from solar energy sources. The energy produced by the Grid Connected SPV system can be used to meet electricity needs during the day. The fulfillment of electrical energy can be divided from PLN and Rooftop SPV energy. The use of SPV rooftops has several advantages, namely the maximum utilization of solar energy and minimizing obstructions. Grid Connected Rooftop SPV system design needs to be done to optimize the use of solar energy as a green energy system development. This optimization can be used to predict how much power or energy can be produced. The power and energy generated by the grid connected rooftop SPV are calculated based on meteorological data of solar radiation and temperature of the Semarang City BMKG in 2019 as well as the dimensions of the building roof area. This study was validated using the PVSYS 6.8.1 software. The results showed that the power and energy requirements were 103.87 KW and 1371.74 KWh. The dimensions of the roof of the building are 441 m². The roof of the building can accommodate 356 units of SPV modules with a total power and energy of 85,119 KW and 658.6 KWh. Utilization of the SPV grid connected rooftop is able to supply energy needs of 81.9% of the total electrical energy. Another power loads supplied by PLN sources is 31.8%

Keywords : *Grid Connected System, Green Energy, Rooftop SP, Fakultas Teknik Universitas Semarang.*

INTISARI

Gedung Fakultas Teknik Universitas Semarang berpotensi untuk dilakukan pemasangan *Grid Connected rooftop* solar photovoltaic (SPV). SPV ini mampu menghasilkan energi listrik dari sumber energi matahari. Energi yang dihasilkan oleh system *Grid Connected SPV* dapat digunakan untuk mencukupi kebutuhan listrik pada siang hari. Pemenuhan energi listrik dapat dibagi dari energi PLN dan *Rooftop SPV*. Pemanfaatan *Grid Connected rooftop SPV* mempunyai beberapa keunggulan yaitu pemanfaatan energi matahari lebih maksimal dan meminimalisir penghalang. *Grid Connected Rooftop SPV* lebih mudah untuk diintegrasikan dengan sistem kelistrikan yang sudah ada. Perancangan system *Grid Connected Rooftop SPV* perlu dilakukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari sebagai salah satu pengembangan *green energy system*. Optimalisasi ini dapat digunakan untuk memprediksi berapa daya atau energy yang mampu dihasilkan. Daya dan energy yang dihasilkan oleh *grid connected rooftop SPV* dihitung berdasarkan data meteorologi radiasi matahari dan temperature BMKG Kota Semarang tahun 2019 serta dimensi luas atap Gedung. Penelitian ini divalidasi dengan menggunakan software PVSYS 6.8.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan daya dan energi sebesar 103.87 KW dan 1371.74 KWh. Dimensi atap gedung sebesar 441 m². Atap gedung mampu menampung jumlah modul SPV sebanyak 356 Unit dengan total daya dan energi sebesar 85,119 KW dan 658.6 KWh. Pemanfaatan *grid connected rooftop SPV* ini mampu mensupply kebutuhan energi sebesar 81,9% dari total kebutuhan energi listrik pada gedung Fakultas Teknik. Kebutuhan beban daya yang lain di supply oleh sumber PLN sebesar 31,8%

Kata kunci: *Grid Connected System, Green Energy, Rooftop SPV, Fakultas Teknik Universitas Semarang*

I. PENDAHULUAN

Salah satu rencana pemerintah pada tahun 2020 dalam pengembangan energi baru terbarukan adalah pembangunan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga

Surya). Secara geografis Jawa Tengah berada di daerah khatulistiwa yang terletak pada 10°LS, dengan intensitas penyinaran matahari 3.5 KWh/m²/hari – 4.67 KWh/m²/hari, sehingga hampir diseluruh daerah bisa

di bangun PLTS atau Solar Photovoltaic (SPV)[1]. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam skala besar masih memiliki keterbatasan seperti keterbatasan tersedianya lahan yang tidak jauh dengan pusat beban atau konsumen. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah membangun PLTS dengan memanfaatkan bangunan seperti bagian atap gedung (*rooftop*). Sistem pembangunan SPV pada *rooftop* merupakan pembangkit listrik yang dapat terkoneksi dengan jaringan PLN atau grid connected maupun dimanfaatkan langsung pada gedung tersebut [2]. Ketersediaan lahan pada atap sebuah gedung dapat digunakan untuk membangkitkan energi matahari melalui modul panel surya untuk didistribusikan dan ditransmisikan melalui jaringan grid[1][3]. Panel SPV mengkonversikan secara langsung radiasi matahari menjadi energi listrik. Grid connected selalu dikoneksikan dengan jaringan listrik umum dengan menggunakan inverter karena energi yang dihasilkan oleh panel SPV adalah tegangan DC[4][5]. Gedung – gedung yang ada di Lingkungan Universitas Semarang (USM) dapat dimanfaatkan untuk pemasangan grid connected *Rooftop* SPV. Salah satu gedung yang menjadi objek penelitian ini adalah Gedung Fakultas Teknik USM. Universitas Semarang memiliki langganan daya PLN sebesar 100-500 KW dan Gedung Fakultas Teknik menggunakan lebih dari 20% dari total langganan dengan konsumsi energi listrik sebesar 100.5 KW yang digunakan untuk konsumsi AC dan penerangan gedung. Beberapa hasil penelitian tentang sistem grid connected Roof top panel SPV menunjukkan bahwa Hasil estimasi menunjukkan bahwa atap berbagai blok bangunan dapat menampung 550,8KW sistem solar photovoltaic yang terhubung dengan jaringan dan dapat menghasilkan daya listrik yang cukup untuk konsumsi energi dan mengurangi konsumsi energi dari pasokan jaringan serta mengurangi ketergantungan jaringan[3]. Unjuk kerja *rooftop* pembangkit listrik tenaga surya dikantor gubernur bali 158 KWP menunjukkan bahwa Energi yang dihasilkan hingga saat ini telah mengurangi suplai energi listrik dari PLN[2][6]. Simulasi menghasilkan data energi total dalam satu tahun sebesar 249.764 KWh/tahun dengan energi tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 24.172 KWh dan energi terendah terjadi pada bulan Januari sebesar 16.226 KWh[2].

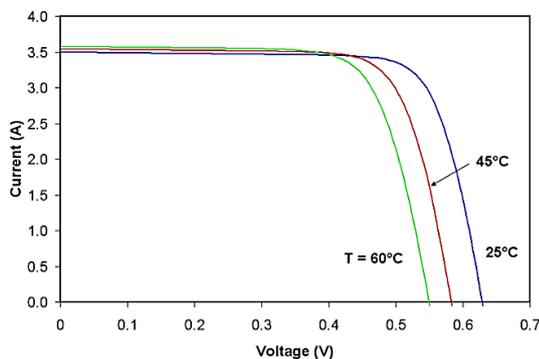
Pada penelitian ini dibuat sebuah system grid connected *rooftop* SPV yang akan diterapkan pada

gedung Fakultas Teknik Universitas Semarang. System ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk menerapkan pembangkit listrik tenaga surya di lingkungan Universitas Semarang. Energi yang dihasilkan oleh system SPV dapat digunakan untuk mencukupi kebutuhan listrik pada siang hari, sehingga pemenuhan energi listrik dapat dibagi dari PLN dan *Rooftop* SPV yang telah dibangun. Analisa pemanfaatan *rooftop* SPV perlu dilakukan agar dapat memprediksi berapa energi yang mampu dihasilkan. Hasil yang dicapai pada penelitian adalah sebuah model sistem system optimalisasi pemanfaatan grid connected *rooftop* SPV sebagai sumber pembangkit energi listrik alternative dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia yang ramah lingkungan atau green energy. Parameter yang diamati adalah nilai radiasi matahari, suhu, daya dan energi. Penelitian ini penting untuk dilakukan karena Indonesia khususnya di Kota Semarang memiliki radiasi matahari yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik yang ramah lingkungan. Selain itu atap Gedung yang belum termanfaatkan dengan baik dapat digunakan untuk menempatkan modul SPV sehingga sistem pembangkitan energi ini tidak memerlukan area lagi untuk menempatkan modul SPV.

II. LANDASAN TEORI

A. Solar Photovoltaic (SPV)

SPV terdiri dari sejumlah sel *photovoltaic* yang saling terhubung secara seri dan diproduksi menjadi sebuah unit. Sel-sel tersebut berikutan dengan kawat busbar penghubungnya dilindungi oleh bahan pelapis atau enkapsulasi (*encapsulating material*) yang melindungi sel-sel dari kontak langsung dengan lingkungan dan kekuatan mekanik yang dapat merusak sel-sel yang tipis. Kinerja kelistrikan modul *photovoltaic* dicirikan dengan kurva arus-tegangan (I-V)[7][8]. Kurva tersebut menjelaskan operasi arus dan tegangan modul *photovoltaic* pada radiasi sinar matahari dan suhu tertentu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1[6].



Gambar 1. Kurva karakteristik SPV

Dalam menentukan jumlah modul *photovoltaic* maka harus mengetahui luas area array terlebih dahulu yang dihitung dengan persamaan 1[9][10].

$$P\Delta t = C_t \times \Delta t \times P_{nom} \dots \dots \dots (1)$$

dimana,

$P\Delta t$ adalah Daya pada perubahan temperature (Watt),

C_t adalah Koefisien daya pada level temperatur ($\%/^{\circ}C$),

P_{nom} adalah Daya nominal modul PV (Watt)

Setelah $P\Delta t$ diketahui, langkah berikutnya adalah menentukan nilai $P_{max t}$, yaitu besarnya daya keluaran modul *photovoltaic* pada level temperatur tertentu yang ditunjukkan pada persamaan 2[9][10].

$$P_{max t} = P_{nom} - P_{\Delta t} \dots \dots \dots (2)$$

dimana,

$P_{max t}$ adalah Daya keluaran modul *photovoltaic* pada level temperatur (Watt),

P_{nom} adalah Daya nominal modul PV (Watt),

$P_{\Delta t}$ adalah Daya pada perubahan temperatur (Watt).

Setelah $P_{max t}$ diketahui, langkah berikutnya adalah menentukan nilai TCF (*Temperatur Correction Factor*) seperti persamaan 3[9][10].

$$TCF = \frac{P_{max t}}{P_{nom}} \dots \dots \dots (3)$$

dimana,

TCF adalah *Temperatur Correction Factor*,

$P_{max t}$ adalah Daya keluaran modul *photovoltaic* pada level temperatur (Watt),

P_{nom} adalah Daya nominal modul PV (Watt)

Apabila nilai G_{av} (Intensitas matahari harian), E_l (Estimasi energi yang dibangkitkan), ρ_{PV} , ρ_{out} , TCF, sudah diketahui maka luas Array dapat dihitung menggunakan persamaan 4[9][10].

$$\text{Luas Array} = \frac{E_l}{G_{av} \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times TCF} \dots \dots (4)$$

dimana,

Luas Array satuannya adalah (m^2),

E_l adalah Kebutuhan daya (KWh),

G_{av} adalah Intensitas matahari harian (KW/m^2),

ρ_{PV} adalah Efisiensi modul *photovoltaic* (%),

ρ_{out} adalah Efisiensi keluaran (%) asumsi 0,98

TCF adalah *Temperatur Correction Factor*

Setelah mengetahui nilai parameter di atas, selanjutnya adalah menentukan daya yang dibangkitkan dengan menggunakan persamaan 5[9][10].

$$P_{wp} = \text{Luas Array} \times PSI \times \rho_{PV} \dots \dots \dots (5)$$

dimana,

P_{wp} adalah *Power Watt Peak* (Wp),

PSI adalah *Peak Sun Insolation* ($1000 W/m^2$),

ρ_{PV} adalah Efisiensi modul *photovoltaic* (%).

Selanjutnya menentukan jumlah modul *photovoltaic* menggunakan persamaan 6[9][10].

$$\text{Jumlah modul PV} = \frac{P_{WP}}{P_{nom}} \dots \dots \dots (6)$$

dimana,

Jumlah modul PV adalah Unit,

P_{wp} adalah *Power Watt Peak* (Wp),

P_{nom} adalah Daya nominal modul *photovoltaic* (Wp).

Perhitungan P_{out} dapat dicari setelah mendapatkan nilai *fill factor*, *fill factor* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 7[9][10].

$$\text{Fill Factor atau Faktor pengisian} = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots (7)$$

Dimana,

V_m adalah Tegangan maksimum sel Surya (V),

I_m adalah Arus maksimum sel Surya (A),

V_{oc} adalah Voltage Open Circuit (V),

I_{sc} adalah Short-Circuit Current (A)

Daya output P_{out} yang dihasilkan panel dengan kapasitas tertentu dihitung dengan menggunakan persamaan 8[9][10].

$$P_{Out} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \dots\dots\dots(8)$$

dimana,

V_{oc} adalah *Voltage Open Circuit* (V),
 I_{sc} adalah *Short-Circuit Current* (A) dan
 FF adalah *Fill Factor*

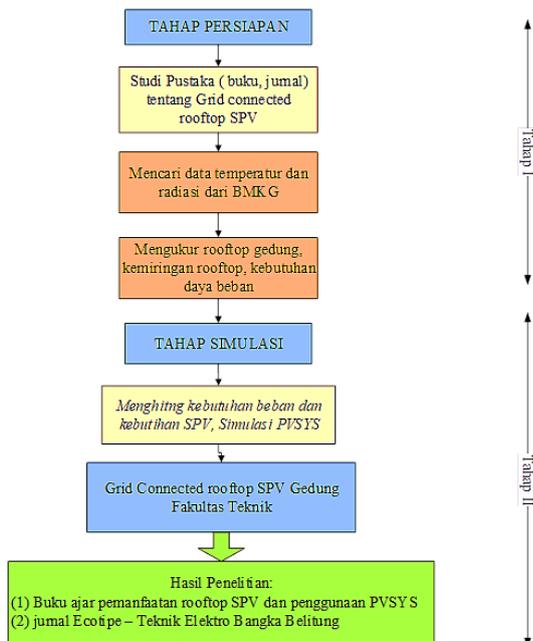
Energi output dihitung menggunakan persamaan 9.

$$E_{Out} = P_{Out} \times ss \dots\dots\dots(9)$$

dimana, E_{out} adalah energi output dan ss adalah lama peninaran matahari.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan pengambilan data radiasi matahari dan temperature, pengukuran dimensi atap Gedung dan kebutuhan daya Gedung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain dan simulasi pemanfaatan *Grid Connected rooftop* SPV sebagai sumber energi alternative pada gedung Fakultas Teknik Universitas Semarang. Simulasi system menggunakan PVSYS 6.8.1.



Gambar 2. Alur pengerjaan sistem

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain dan simulasi pemanfaatan *Grid Connected rooftop* SPV sebagai sumber energi alternative pada gedung Fakultas Teknik Universitas Semarang. Simulasi system menggunakan PVSYS 6.8.1 seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan PVSYS 6.8.1

A. Data Radiasi dan Temperatur Kota Semarang Tahun 2019

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data radiasi matahari dan data temperatur pada Tahun 2019 yang didapatkan dari BMKG Kota Semarang, serta data beban untuk penerangan gedung A Fakultas Teknik USM. Data-data tersebut antara lain:

1. Data Radiasi Matahari 2019 di Semarang
 Pada Tabel 1 menampilkan data besaran nilai radiasi matahari di Kota Semarang.

Tabel 1. Data Radiasi Matahari Semarang 2019

BULAN	RADIASI SEMARANG	
	Cal/cm2/Jam	KWh/m2
JANUARI	335	3.91
FEBRUARI	310	3.62
MARET	322	3.76
APRIL	337	3.93
MEI	347	4.05
JUNI	337	3.93
JULI	345	4.03
AGUSTUS	398	4.64
SEPTEMBER	465	5.43
OKTOBER	714	8.33
NOVEMBER	653	7.62
DESEMBER	631	7.36

2. Data Temperatur Lingkungan 2019

Tabel 2 menunjukkan data temperatur pada tahun 2019 mulai dari temperatur maksimum (Tx), temperature minimum (Tn), dan temperature rata – rata (Tavg), lama penyinaran matahari rata-rata (ss).

Tabel 2. Data Temperatur Tahun 2019

BULAN	Tn	Tx	Tavg	ss
	(°C)	(°C)	(°C)	(jam)
JANUARI	24.95	30.81	27.62	4.5
FEBRUARI	24.8	31.61	27.9	5.84
MARET	24.79	31.23	27.52	4.91
APRIL	25.54	32.74	26.77	7.01
MEI	24.96	33.45	28.94	8.53
JUNI	23.71	33.52	28.24	8.73
JULI	22.9	33.76	27.74	9.63
AGUSTUS	23.16	34.12	28.02	9.68
SEPTEMBER	23.93	34.98	28.77	9.81
OKTOBER	24.72	35.68	29.79	9.94
NOVEMBER	25.55	34.91	30.09	7.98
DESEMBER	25.04	32.28	28.61	6.04
Rata - Rata	24.50	33.26	28.33	7.72

B. Data Beban

Kebutuhan beban listrik Gedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang yang dihitung pada penelitian ini adalah beban yang hanya digunakan untuk penerangan dan AC (Air Conditioner). Karena didalam aktifitas proses belajar mengajar kebutuhan penerangan dan AC ini yang sangat penting. Berdasarkan pada hasil pengukuran dan data single line diagram sistem kelistrikan Gedung A Fakultas Teknik maka kebutuhan total daya dan total energi Gedung A sebesar 103,87 KW dan 1371,74 KWh. Total kebutuhan daya dan energi ini akan digunakan sebagai acuan untuk menghitung kebutuhan SPV. Daya dan energi ini yang akan dijadikan referensi untuk merancang kebutuhan dan optimalisasi SPV rooftop dengan system on grid.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Kebutuhan SPV

Perhitungan kebutuhan SPV dihitung berdasarkan total kebutuhan daya dan energi dikalikan dengan *safety factor* sebesar 20% untuk mengantisipasi kehilangan energi pada SPV.

$$E_T = E_B \times \text{safety factor}$$

$$E_T = 1371,74 \times 1,2$$

$$E_T = 1646,09 \text{ KWh/hari}$$

Sedangkan total daya setelah dikalikan *safety factor* adalah $103,87 \times 1,2 = 124,64 \text{ KW}$. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis monokristalin tipe Panasonic VBHN240SE10 dengan spesifikasi panel surya seperti Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Panel Surya

Model	VBHN240SE10 dan VBHN240SE11
Cell Number in series	72
Rated Power Watts (Pmax)	240
Maximum Power Voltage (Vpm)	43.7
Maximum Power Current (Ipm)	5
Open Circuit Voltage (Voc)	51
Short Circuit Current (Isc)	52.4
Cell Type	HIT*

Langkah menghitung kebutuhan modul SPV berdasarkan nilai temperature yaitu dengan menghitung nilai (1) Daya berdasarkan perubahan temperature, (2) Daya maksimum, (3) TCF atau Temperature Corection Factor, (4) Luas Array, (5) Power Watt Peak (PWp) dan (6) jumlah modul SPV yang digunakan. Perhitungan daya berdasarkan pada perubahan temperature ($P\Delta t$) pada siang hari dipengaruhi perubahan temperature (Δt) yang didapatkan dari nilai temperature maksimum (Tx) dikurangi nilai temperature minimum (Tn) pada data waktu Tahun 2019. Hasil perhitungan nilai daya berdasarkan perubahan nilai temperature ditunjukkan pada Tabel 4. Rata-rata nilai daya berdasarkan perubahan temperature selama Tahun 2019 adalah 6,09 Wp.

$$P\Delta t = C_t \times \Delta t \times P_{nom}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai daya berdasarkan perubahan nilai temperature Tahun 2019

BULAN	Tn	Tx	Δt	Ct	Pnom	PΔt
	(°C)	(°C)	(°C)	(%/°C)	(Wp)	(Wp)
JAN	24,95	30,81	5,86	0,29	240	4,08
FEB	24,8	31,61	6,81	0,29	240	4,74
MAR	24,79	31,23	6,44	0,29	240	4,48
APRIL	25,54	32,74	7,20	0,29	240	5,01
MEI	24,96	33,45	8,49	0,29	240	5,91
JUNI	23,71	33,52	9,81	0,29	240	6,83
JULI	22,9	33,76	10,86	0,29	240	7,56
AGUST	23,16	34,12	10,96	0,29	240	7,63
SEPT	23,93	34,98	11,05	0,29	240	7,69
OKT	24,72	35,68	10,96	0,29	240	7,63
NOV	25,55	34,91	9,36	0,29	240	6,51
DES	25,04	32,28	7,24	0,29	240	5,04
Rata - 2	24,50	33,26	8,75	0,29	240	6,09

Daya rata-rata nominal yang dihasilkan oleh satu unit modul SPV adalah 240 Wp. Perubahan temperatur selama tahun 2019 mengakibatkan nilai daya nominal berkurang dengan daya rata-rata sebesar 6,09 Wp. Daya yang mampu dihasilkan oleh satu unit modul SPV adalah $(240 \text{ Wp} - 6,09 \text{ Wp}) = 233,91 \text{ Wp}$.

Kebutuhan daya beban penerangan dan AC per lantai ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Beban penerangan dan AC

No	Beban	Lantai	Daya (KW)	Energi (KWh)
1	Penerangan	1	3,47	45,97
		2	3,8	49,3
		3	3,11	40,4
2	AC	1	20,57	287,98
		2	34,03	442,44
		3	38,9	505,65

Luas *array* modul SPV dihitung berdasarkan kebutuhan beban energy penerangan dan kebutuhan beban energy AC per lantai seperti pada Tabel 5., Dengan menggunakan persamaan (4) dan data Temperatur tahun 2019 pada Tabel 4 maka didapatkan rata-rata luas SPV dan jumlah modul SPV seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata Luas SPV dan Jumlah Modul SPV

No	Beban	Kebutuhan energi (KWh)	Luas Array (m ²)	Jumlah Modul SPV (Unit)
1	Penerangan (Lantai 1,2&3)	135,67	147,99	117
2	AC Lantai 1	287,98	314,13	249
3	AC Lantai 1	442,44	482,62	382
4	AC Lantai 1	505,65	551,57	437

Rata-rata luas array SPV untuk penerangan sebesar 147,99 m², AC pada lantai 1 sebesar 314,13 m², AC pada lantai 2 sebesar 482,62,13 m², AC pada lantai 3 sebesar 551,57 m². Jumlah modul SPV yang dibutuhkan adalah jumlah modul SPV untuk penerangan sebanyak 117 Unit, AC lantai 1 sebanyak 249 unit, AC lantai 2 sebanyak 382 unit dan AC lantai 3 sebanyak 437 Unit. Secara keseluruhan jumlah modul SPV yang digunakan untuk penerangan sebesar 117 Unit dan untuk kebutuhan beban AC sebesar 1068 Unit.

Dimensi dari Gedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang adalah 27,5 x 10 x 12,5 m, untuk dimensi atap Gedung A sendiri adalah 31,5 x 14 m dengan sudut kemiringan 30°. Penerapan yang sebenarnya harus memperhatikan kondisi atap gedung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas Atap Gedung A} &= P \times l \\ &= 31,5 \times 14 \\ &= 441 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Modul SPV} &= \frac{\text{Luas atap (m}^2\text{)}}{\text{Luas PV (m}^2\text{)}} \\ &= \frac{441}{1,24} \\ &= 356 \text{ Unit} \end{aligned}$$

Fill Factor atau Faktor Pengisian (FF) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui :} \\ V_m &= 43.7 \text{ V} \\ I_m &= 5.51 \text{ A} \\ V_{oc} &= 52.4 \text{ V} \\ I_{sc} &= 5.85 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Fill Factor/ Faktor Pengisian} = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

$$\text{Fill Factor/ Faktor Pengisian} = \frac{43.7 \times 5.51}{52.4 \times 5.85}$$

Fill Factor/ Faktor Pengisian = 0.78

Daya output (Pout) pada modul SPV berkapasitas 240 Wp adalah:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$P_{out} = 52,4 \times 5,85 \times 0,79$$

$$P_{out} = 239.1 \text{ W}$$

Sedangkan nilai energi output didapat dengan menggunakan persamaan 9 seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Energi Output

Bulan	Pout	ss	Eout
	(W)	(jam)	(kWh)
JANUARI	239.1	4.5	1.08
FEBRUARI	239.1	5.84	1.40
MARET	239.1	4.91	1.17
APRIL	239.1	7.01	1.68
MEI	239.1	8.53	2.04
JUNI	239.1	8.73	2.09
JULI	239.1	9.63	2.30
AGUSTUS	239.1	9.68	2.31
SEPTEMBER	239.1	9.81	2.35
OKTOBER	239.1	9.94	2.38
NOVEMBER	239.1	7.98	1.91
DESEMBER	239.1	6.04	1.44
Rata - Rata	239.1	7.72	1.85

Berdasarkan hasil perhitungan maka atap gedung A Fakultas Teknik USM mampu menampung jumlah modul SPV sebanyak 356 Unit dengan daya rata-rata per modul SPV dan per bulan selama Tahun 2019 adalah 239,1 Watt dan Energi sebesar 1.85 KWh. Total daya yang mampu dihasilkan dengan 356 Unit SPV adalah 356 unit x 239,1 Watt = 85.119,6 Watt = 85,119 KW atau 356 Unit x 1.85 KWh = 658,6 KWh. Total daya dan Total energi yang dihasilkan, jika ini diterapkan maka akan mampu mensuplay kebutuhan beban untuk penerangan sejumlah 135,67 KWh dan 522.93 KWh untuk beban AC (kebutuhan pada lantai 3 yang setiap hari digunakan untuk perkuliahan).

B. Perhitungan Kebutuhan Baterai

Daya dan Energi rata-rata yang dapat dihasilkan dengan luas atap gedung A Fakultas Teknik USM adalah 85,119 KW dan 658,6 KWh. Perhitungan kapasitas baterai mempertimbangkan faktor cuaca apabila terdapat kondisi tanpa ada matahari (*No-sun or Black Day*). Kondisi tersebut bisa diasumsikan bahwa baterai mampu bertahan atau dapat digunakan selama 3 hari dengan DOD (*Depth of Discharge*) sebesar 80%. Rata-rata beban adalah:

$$\text{Weighted average load work time} = \frac{\Sigma \text{energy}}{\Sigma \text{power}}$$

$$\text{Weighted average load work time} = \frac{658,6 \text{ KWh}}{85,119 \text{ kW}} = 7,7$$

$$\text{Average Discharge Rate (h)} = \frac{\text{autonomy days} \times \text{weighted average load work time}}{\text{DOD}}$$

$$\text{Average Discharge Rate (h)} = \frac{(3 \times 7,7)}{0,8}$$

$$\text{Average Discharge Rate (h)} = 28 \text{ h}$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{D \times L}{\text{DOD} \times \text{nout} \times V}$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{658600}{0,8 \times 0,95 \times 48}$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = 18.053 \text{ Ah}$$

Berdasarkan perhitungan maka kapasitas baterai yang dibutuhkan sebesar 18.053 Ah. Jika baterai yang akan digunakan adalah baterai merk Narada dengan tipe MPG 12V 200, maka jumlah baterai yang dibutuhkan adalah :

$$\text{Jumlah baterai disusun Paralel} = \frac{18.053}{200} = 90 \text{ unit}$$

$$\text{Jumlah baterai disusun Seri} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4 \text{ unit}$$

$$\text{Jadi total baterai adalah } 90 \times 4 = 360 \text{ baterai}$$

C. Perhitungan Kebutuhan Inverter

Kapasitas inverter adalah perbandingan antara daya beban dengan efisiensi inverter yaitu 0,8. Kapasitas inverter ditentukan berdasarkan daya yang akan digunakan yaitu 85,119 KW sesuai dengan luas atap Gedung Fakultas Teknik.

$$\text{Inverter Capacity} = \text{Load Power} / 0,8$$

$$\text{Inverter Capacity} = 85,119 \text{ KW} / 0,8$$

Inverter Capacity = 118,9 KW = 120 KW

Inverter yang digunakan pada adalah inverter SOFAR 2700 TL dengan kapasitas 120 KW. Inverter ini merupakan grid tie inverter yang diperuntukkan khusus untuk sistem SPV.

Jumlah kebutuhan daya atau energi dari Gedung A Fakultas Teknik sebesar 103,87 KW. Kapasitas Daya yang mampu dibangkitkan oleh sistem rooftop SPV adalah 85,119 KW. Berdasarkan hal tersebut maka 81,9% kebutuhan daya dapat disupply oleh sistem SPV dan 18,1% disupply oleh PLN.

Secara keseluruhan perancangan sistem SPV pada Gedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perancangan sistem SPV Gedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang

No	Kebutuhan	Kapasitas
1	Kebutuhan Daya	124,64 KW yang terbagi untuk beban penerangan dan AC
2	Kebutuhan Energi Listrik	1371,74 KWh
3	Dimensi dan Luas Array atap Gedung	31,5 x 14 m dengan sudut kemiringan 30°
4	Jumlah SPV	356 Unit dengan spesifikasi: Pm : 240 Wp Vm = 43.7 V Im = 5.51 A Voc = 52.4 V Isc = 5.85 A
5	Kapasitas SPV yang bisa dibangkitkan	85,119 KW
6	Kapasitas Energi SPV yang bisa dibangkitkan	658,6 KWh
7	Kapasitas Baterai	18.053 Ah Baterai Narada MPG 12 V 200 Ah
8	Jumlah Baterai	360 Baterai
9	Kapasitas Inverter	120 KW Sofar Inverter 2700TL
10	Prosentase SPV dalam mensupply energi di gedung A Fakultas Teknik	= 85,119 KW/ 124,64KW = 68,2 % Dan 31,8% menggunakan sumber energi dari PLN

V. KESIMPULAN

Total kebutuhan daya dan energi Gedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang sebesar 103,87 KW dan 1371,74 KWh yang terbagi untuk beban penerangan dan beban AC dari lantai 1 sampai dengan lantai 3.

Kebutuhan modul SPV untuk memenuhi kebutuhan energi Gedung A Fakultas Teknik USM ditentukan berdasarkan nilai temperature selama Tahun 2019 dan berdasarkan dimensi atap gedung A. Jumlah kebutuhan modul SPV berdasarkan perubahan nilai temperature selama Tahun 2019 sebanyak 117 Unit untuk beban penerangan dan 1068 unit untuk beban AC. Sedangkan, atap gedung A Fakultas Teknik USM mampu menampung jumlah modul SPV sebanyak 356 Unit dengan daya rata-rata per modul SPV dan per bulan selama Tahun 2019 adalah 239,1 Watt dan Energi sebesar 1.85 KWh. Total daya yang mampu dihasilkan dengan 356 Unit SPV adalah 356 unit x 239,1 Watt = 85.119,6 Watt = 85,119 KW atau 356 Unit x 1.85 KWh = 658,6 KWh. Total daya dan Total energi yang dihasilkan, jika ini diterapkan maka akan mampu mensupply kebutuhan beban untuk penerangan sejumlah 135,67 KWh dan 522.93 KWh untuk beban AC. Jadi kebutuhan beban untuk penerangan semuanya bisa di supply oleh system SPV, tetapi untuk beban AC hanya 522,93 KWh dari total beban AC yang di butuhkan sebesar 1.236,07 KWh. Prosentasi kapasitas SPV dalam mensupply kebutuhan energi listrik digedung A Fakultas Teknik Universitas Semarang adalah sebesar 68,2%. Kebutuhan beban daya yang lain di supply oleh sumber PLN sebesar 31,8%

Terima kasih kepada LPPM Universitas Semarang yang telah memberikan pendanaan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. H. Albadi *et al.*, "Design of a 50 kW solar PV rooftop system," *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, no. January 2016, 2014, doi: 10.12720/sgce.3.4.401-409.
- [2] M. R. Wicaksana, I. N. S. Kumara, I. A. D. Giriantari, and R. Irawati, "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158

- kWp Pada Kantor Gubernur Bali,” *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, pp. 107–113, 2019.
- [3] V. Baby Shalini, G. Vinay Goud, and C. Radha Charan, “Grid Connected Rooftop Solar Pv System: A Pre-Feasibility Estimation Using Pvsol Premium And System Advisor Model(Sam),” *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, vol. 8, no. 09, 2019.
- [4] T. Jaipur, “Grid Connected Roof Top Solar Power Generation : A Review,” vol. 3, no. 1, pp. 325–330, 2014.
- [5] L. Zaghba, M. Khennane, A. Borni, and A. Fezzani, “Control and performance analysis of grid connected photovoltaic systems of two different technologies in a desert environment,” no. 31, pp. 111–128, 2017.
- [6] M. B. Arias and S. Bae, “Design models for power flow management of a grid-connected solar photovoltaic system with energy storage system,” *Energies*, vol. 13, no. 9, May 2020, doi: 10.3390/en13092137.
- [7] R. M. Essefi, P. M. Souissi, and P. H. H. Abdallah, “Maximum power point tracking control technique for photovoltaic systems using neural networks,” *IREC 2014 - 5th International Renewable Energy Congress*, no. July, pp. 53–65, 2014, doi: 10.1109/IREC.2014.6826996.
- [8] R. K. Sharma, S. Bux, V. K. Sethi, and A. C. Tiwari, “Environment Friendly Solar Roof,” vol. 6, no. 9, pp. 94–101, 2015.
- [9] E. Lorenzo, ”Solar Electricity”,
<http://books.google.co.id/books/Solar>
- [10] Ramadhani, Bagus. 2018. Instalasi Pembangkit Listrik Dos & Don'ts. Jakarta. Energising Development Indonesia.