

PENGARUH ARAH SEL SURYA BERDASAR MATA ANGIN TERHADAP KINERJANYA

EFFECT OF SOLAR CELL DIRECTION BASED ON CARDINAL POINTS OF THE COMPASS ON PERFORMANCE

Rifky^{*1}, Dan Mugisidi², Agus Fikri³, Mohammad Mujirudin⁴, Arry Avorizano⁵

^{1,2,3})Program Studi Teknik Mesin

⁴)Program Studi Teknik Elektro

⁵)Program Studi Teknik Informatika

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka no. 6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830
Telp.(021) 8400941 Fax.(021) 87782739 Mobile +6218151625297

Diterima: 19 Januari 2021

Direvisi: 22 Februari 2021

Disetujui: 22 Maret 2021

ABSTRAK

Pemanfaatan energi matahari yang mengubah energi cahayanya menjadi listrik melalui sistem sel surya dan aplikasinya dalam bangunan sangat tepat. Penempatan panel surya pada bangunan di atap, dinding, kaca, atau fasade. Posisi panel surya dimaksudkan untuk mendapatkan sebanyak mungkin pancaran cahaya matahari. Salah satu faktor yang memberikan kontribusi terhadap kinerja sel surya adalah posisi jatuhnya cahaya matahari di atas permukaan modul sel. Sel surya mendapatkan radiasi yang maksimal ketika cahaya matahari jatuh tegak lurus. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Panel surya dihadapkan ke arah timur, utara, dan barat. Hasil penelitian ini mendapatkan daya luaran terbesar sel surya di atap pada arah utara yaitu 25,49 W. Efisiensi terbesar sel surya di atap pada arah barat yaitu 13,91%. Perbedaan kinerja antara sel surya di atap dengan di dinding lebih signifikan pada penempatan menghadap ke utara. Nilai listrik yang diakumulasi yang disimpan dalam baterai adalah sebesar 5,35 kWh pada panel surya yang ditempatkan di atas dengan arah ke utara.

Kata kunci: surya, sel surya, atap, dinding.

ABSTRACT

Utilization of solar energy that converts light energy into electricity through a solar cell system and its application in buildings is very appropriate. Placement of solar panels on buildings: on roofs, walls, glass, or facades. The position of the solar panels was intended to get as much sunlight as possible. One of the factors that contribute to the performance of solar cells is the position of the fall of sunlight on the surface of the cell module. Solar cells get maximum radiation when sunlight falls perpendicularly. The methodology used in this research was experimental method. The solar panels were facing east, north and west. The results of this study showed that the greatest output power of solar cells on the roof in the north direction was 25.49 W. The greatest efficiency of solar cells on the roof in the west direction was 13.91%. The difference in performance between the solar cells on the roof and on the wall was more significant in north facing placements. The accumulated value of electricity stored in the battery was 5.35 kWh on the solar panel which was placed on top facing north.

Keywords: solar, solar cell, roof, wall.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara tropis yang mendapat curahan panas dan cahaya matahari sepanjang tahun, karena terletak di katulistiwa tepatnya dengan geografis 6° LU - 11° LS dan 95° BT - 41° BT [1]. Dengan posisi yang demikian Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan energi surya. Pemerintah menargetkan kapasitas terpasang energi surya untuk pembangkit listrik mencapai 0,87 GW pada tahun 2025. Realisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada tahun 2020 mencapai 0,15 GWp dari potensi energi surya di Indonesia sebesar 207,8 GWp [2].

Matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan dalam bentuk energi panas (termal) dan dengan mengkonversinya langsung menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi termal surya sudah sejak dahulu yang dimanfaatkan dalam pengeringan, sedangkan konversi langsung energi cahaya matahari menjadi listrik melalui sistem *photovoltaics* atau *solar cell* (sel surya).

Sel surya dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik sehingga menghasilkan daya luaran yang dipengaruhi beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain temperatur sel, radiasi matahari, kecepatan angin, keadaan atmosfer, orientasi panel, dan posisi sel surya itu sendiri [3]. Dalam penelitian ini radiasi matahari, orientasi panel (sebagai arah mata angin, yakni arah timur, utara, dan barat) serta posisi panel (diletakkan pada atap dan dinding) dijadikan variabel yang dipelajari. Sementara faktor yang lainnya dianggap konstan (tidak ditetapkan).

Sel surya dalam pemasangan di bangunan memerlukan pilihan jenisnya. Namun, strategi pilihan tidak cukup, karena ada batas jumlah energi yang dapat dihasilkan kolektor sel surya yang ditentukan oleh efisiensi sel surya, sudut kemiringan [4], sudut azimuth, posisi lintang, dan efisiensi keseimbangan sistem sel surya [5, 6]. Oleh karena itu panel sel surya harus diposisikan sedemikian rupa, sehingga sinar matahari tiba di panel secara langsung dan tegak lurus dengan permukaannya [7].

Sel surya dapat digunakan pada bangunan dan peralatan bergerak. Penggunaan sel surya pada bangunan baik bangunan perumahan

maupun komersil menempatkan sel surya pada posisi yang tepat dengan arah dan sudut datang cahaya matahari. Atap dan dinding bangunan merupakan bagian bangunan yang kerap berhadapan dan mendapat pancaran cahaya matahari. Oleh karena itu atap dan dinding bangunan diharapkan dapat menjadi media yang mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Aplikasi sel surya pada bangunan memberikan kontribusi sel surya dalam dua metode, yaitu sistem sel surya hanya terpasang pada bangunan sebagai bagian fungsional dari struktur bangunan dan sistem sel surya terintegrasi secara arsitektur dengan bangunan itu sendiri [8, 9] yang dapat berbentuk lembaran, lantai, modul, dan kaca [8]. Integrasi sel surya dengan bangunan disebut sebagai *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV). Empat opsi utama untuk membangun integrasi sel PV adalah pada atap miring, atap datar, fasad dan sistem naungan [9]. Sistem BIPV berfungsi sebagai bahan pembungkus bangunan dan pembangkit listrik secara bersamaan [9].

BIPV memiliki pengaruh signifikan terhadap perpindahan panas melalui selubung bangunan karena perubahan tahanan termal dengan menambahkan atau mengganti elemen bangunan [10]. Perpindahan panas yang terjadi dari modul PV menuju dinding. Proses perpindahan panas konveksi dari sisi belakang modul PV ini dihentikan dalam sistem BIPV karena modul dipasang di dinding secara langsung [11]. Penerapan BIPV merupakan gagasan integrasi panel PV dengan mengganti elemen bangunan [12]. Selain itu membangun teknologi *photovoltaic* terintegrasi (BIPV) memberikan estetika, ekonomi, dan solusi teknis untuk swasembada listrik pada bangunan [13,14,15]. Bangunan sendiri membutuhkan energi baik dalam bentuk termal, listrik [16], optik, dan kinerja energi menyeluruh dari sistem BIPV [14].

Pemanfaatan energi matahari pada sistem BIPV adalah penting untuk mencapai keseimbangan energi bersih nol [16], dan hal ini memiliki potensi besar dalam integrasinya [17] termasuk untuk bangunan nol emisi [15]. Energi matahari sangat beralasan dengan sistem PV pada bangunan dibuat sistem BIPV, karena sistem energi surya mampu memenuhi setidaknya 76% dari permintaan energi primer bangunan tempat

tinggal dan hal ini membuktikan adanya solusi yang layak untuk *Net Zero Energy Building* (NZEB) [18,19]. Pengembangan NZEB tidak hanya mendapatkan kinerja dalam hal kenyamanan dalam ruangan, keseimbangan energi, dan kecocokan [20], tetapi juga kemungkinan perkembangannya di masa depan untuk kepentingan desainer dan konstruktor bangunan. Hal ini dapat memberikan nuansa seni pada komponen pembungkus bangunan seperti bahan isolasi, bahan isolasi masa depan, dinding, atap, jendela, pintu dan kaca dari prospek efisiensi energi [21].

BAHAN DAN METODE

Dalam operasinya sel surya dipengaruhi oleh material modul panel itu sendiri dan faktor lingkungan sekitar. Keseimbangan energi sel fotovoltaik (PV) dipengaruhi variabel iklim. Ada proses transfer energi yang terlibat: radiasi gelombang pendek, radiasi gelombang panjang, konveksi, dan produksi energi listrik [22].

Konsep dasar sel surya adalah efek fotolistrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Prinsip kerja semikonduktor mirip dengan dioda sebagai *p-n junction*. Praktis semua perangkat fotovoltaik menggabungkan *p-n junction* di semikonduktor yang mengembangkan *photovoltage* [23].

Dalam penelitian ini, daya listrik masukan yang berasal dari intensitas cahaya matahari diukur dan dihitung besarnya menurut persamaan [24]:

$$P_{in} = I_v \cdot A \quad (1)$$

dengan:

P_{in} = daya masukan panel surya (W)

I_v = intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = luas penampang panel surya berdimensi
700 mm x 540 mm x 30 mm (0,378 m²)

Sementara daya listrik keluaran diperoleh dari pengukuran tegangan dan arus listrik, yang dihitung dengan Persamaan [24]:

$$P_{out} = V \cdot I \quad (2)$$

dengan:

P_{out} = daya keluaran panel surya (W)

V = tegangan listrik yang dihasilkan (V)

I = kuat arus listrik yang dihasilkan (A)

Untuk menentukan efisiensi kinerja panel surya digunakan persamaan [24].

$$Ef. = (P_{out}/P_{in}) \times 100\% \quad (3)$$

Penempatan arah panel surya pada ketiga arah mata angin (timur, utara, dan barat) adalah untuk mendapatkan arah yang tepat dan mendapatkan limpahan cahaya matahari secara maksimal baik dalam penempatan panel surya di posisi atap maupun dinding. Panel surya yang ditempatkan pada atap memiliki kemiringan 30° terhadap bidang tanah (horizontal) bertolak belakang dengan arah datang cahaya matahari atau kemiringan 150° searah dengan arah datang cahaya matahari. Panel surya yang ditempatkan pada dinding adalah tegak lurus lantai atau tanah. Ketiga pasangan posisi panel (atap dan dinding) pada model konstruksi bangunan diarahkan ke timur, utara, dan barat dengan searah tidak menyudut sesuai pengukuran kompas.

Panel surya beroperasi sepanjang hari, dari mulai pukul 07.00 sampai 17.00 dengan rentang setiap 30 menit selama tiga hari eksperimentasi dan pengujian. Waktu produksi puncak dari pukul 09.00 sampai 15.00 (waktu matahari) [25]. Data yang berupa intensitas cahaya matahari, temperatur lingkungan, dan temperatur sel surya dikumpulkan sebagai data masukan. Untuk data luaran adalah besarnya tegangan dan arus listrik yang dihasilkan yang diukur dengan Voltmeter dan Amperemeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sel surya yang ditempatkan pada atap dan dinding, dengan dihadapkan ke arah timur, utara, dan barat memberikan hasil seperti bawah ini. Oleh karena itu hasil penelitian terdiri atas tiga bagian, yaitu: timur, utara, dan barat.

Penempatan panel surya tepat ke arah timur dari mata angin, memberikan data penelitian yang ditunjukkan Tabel 1. Dari data pada tabel tersebut tampak bahwa kinerja panel surya yang ditempatkan di atap memberikan hasil rata-rata lebih besar dari panel surya yang ditempatkan di dinding. Sementara untuk menggambarkan distribusi kinerja masing-masing panel surya yang ditempatkan di atap dan dinding, diperlihatkan grafik pada Gambar 1.

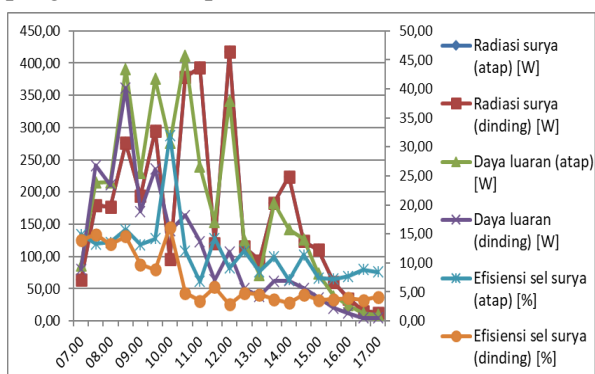
Tabel 1. Pengukuran Kinerja Panel Surya yang Tepat ke Arah Timur

Pukul [WIB]	Pin[A] (W)	Pin[D] (W)	Pout[A] (W)	Pout[D] (W)	Ef.[A] (%)	Ef.[D] (%)
07.00	63,88	63,88	9,54	8,89	14,94	13,91
07.30	179,55	179,55	23,88	26,78	13,30	14,92
08.00	176,90	176,90	23,95	23,43	13,54	13,25
08.30	275,94	275,94	43,43	40,19	15,74	14,56
09.00	193,91	193,91	25,53	18,91	13,17	9,75
09.30	295,22	295,22	41,76	26,21	14,15	8,88
10.00	96,01	96,01	30,72	15,54	32,00	16,19
10.30	378,76	378,76	45,79	18,20	12,09	4,81
11.00	392,74	392,74	26,60	13,67	6,77	3,48
11.30	120,20	120,20	17,10	7,06	14,23	5,87
12.00	417,31	417,31	37,98	11,90	9,10	2,85
12.30	115,29	115,29	13,91	5,55	12,06	4,81
13.00	93,74	93,74	7,95	4,27	8,48	4,54
13.30	183,71	183,71	20,30	6,85	11,05	3,73
14.00	224,15	224,15	15,81	6,96	7,05	3,10
14.30	123,61	123,61	14,10	5,66	11,41	4,58
15.00	110,38	110,38	8,20	3,98	7,42	3,60
15.30	59,72	59,72	4,29	2,24	7,18	3,75
16.00	34,78	34,78	2,68	1,38	7,70	3,97
16.30	15,59	15,59	1,37	0,56	8,84	3,59
17.00	12,85	12,85	1,09	0,54	8,47	4,17
Maks.	417,31	417,31	45,79	40,19	32,00	16,19
Min.	12,85	12,85	1,09	0,54	6,77	2,85
Rerata	169,72	169,72	19,81	11,84	11,67	6,98
Akum.	3.564,16	3.564,16	415,97	348,74	-	-

Dari tabel di atas diberikan keterangan, sebagai berikut:

- Pin[A] = daya masukan panel surya yang ditempatkan di atap (W).
- Pin[D] = daya masukan panel surya yang ditempatkan di dinding (W).
- Pout[A] = daya luaran panel surya yang ditempatkan di atas (W).
- Pout[D] = daya luaran panel surya yang ditempatkan di dinding (W).
- Ef.[A] = efisiensi kinerja panel surya yang ditempatkan di atas (%).
- Ef.[D] = efisiensi kinerja panel surya yang ditempatkan di dinding (%).

Grafik pada gambar 1 di bawah ini sebagai hasil pengolahan data pada tabel di atas.



Gambar 1. Distribusi Kinerja Panel Surya (Timur)

Pada grafik, ditunjukkan bahwa kinerja panel surya meningkat menjelang siang hari, kemudian menurun menjelang sore hari. Hal ini menunjukkan ada peningkatan radiasi matahari pada jam puncak. Hal ini dapat dipahami bahwa panel surya lebih menerima cahaya matahari pada pagi hari sampai siang hari. Cahaya matahari yang jatuh tegak lurus akan menghasilkan intensitas radiasi yang besar [22]. Berkurangnya pantulan cahaya dari permukaan panel akan meningkatkan serapan foton sehingga efisiensi konversi energi pada panel surya [23]. Daya luaran pada panel di atap lebih tinggi dengan rentang waktu yang lebih panjang (09.00-12.00 WIB) dibanding daya luaran yang dihasilkan panel surya pada dinding (09.00-10.00 WIB). Sudut 30° pada atap yang menghadap arah datang cahaya matahari akan mendapatkan lebih banyak pancaran dibanding dengan sudut hadap kurang dari 30° pada dinding. Sudut 30° menghasilkan daya luaran optimal [1]. Mulai pukul 13.00 WIB pada panel di atap dan pukul 11.00 WIB pada panel surya di dinding menghasilkan daya luaran yang semakin turun menjelang petang hari. Hal ini dikarenakan arah datang cahaya matahari menjelang terbenam sudah berada di belakang posisi panel surya.

Penempatan panel surya tepat ke arah utara dari mata angin, dengan data penelitian yang

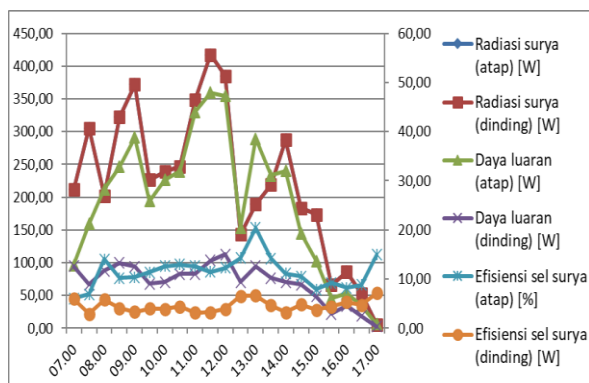
disajikan pada Tabel 2 di bawah ini. Pada Tabel 2 tersebut, tampak perbedaan kinerja panel surya yang ditempatkan di atap dengan di dinding secara rata-rata lebih besar. Jika dibandingkan

antara data Tabel 1 dengan Tabel 2, maka perbedaan data panel surya di atap dengan di dinding lebih signifikan.

Tabel 2. Pengukuran Kinerja Panel Surya yang Tepat ke Arah Utara

Pukul [WIB]	Pin[A] (W)	Pin[D] (W)	Pout[A] (W)	Pout[D] (W)	Ef.[A] (%)	Ef.[D] (%)
07.00	211,68	211,68	12,92	12,62	6,10	5,96
07.30	305,80	305,80	21,22	8,88	6,94	2,90
08.00	202,23	202,23	28,34	11,72	14,01	5,79
08.30	322,06	322,06	32,84	13,27	10,20	4,12
09.00	372,33	372,33	38,79	12,53	10,42	3,36
09.30	226,42	226,42	25,87	9,03	11,43	3,99
10.00	238,90	238,90	30,19	9,41	12,64	3,94
10.30	246,83	246,83	31,93	11,02	12,94	4,47
11.00	348,89	348,89	44,08	11,09	12,64	3,18
11.30	417,31	417,31	47,99	13,80	11,50	3,31
12.00	384,80	384,80	47,25	15,07	12,28	3,92
12.30	143,26	143,26	20,50	9,41	14,31	6,57
13.00	189,00	189,00	38,61	12,67	20,43	6,70
13.30	219,24	219,24	31,08	10,21	14,18	4,66
14.00	287,66	287,66	32,03	9,41	11,13	3,27
14.30	183,71	183,71	19,36	8,91	10,54	4,85
15.00	173,88	173,88	13,73	6,53	7,90	3,75
15.30	66,15	66,15	6,08	2,94	9,20	4,44
16.00	85,81	85,81	7,04	4,61	8,20	5,37
16.30	53,30	53,30	4,68	2,52	8,78	4,73
17.00	5,67	5,67	0,85	0,41	14,92	7,14
Maks.	417,31	417,31	47,99	15,07	20,43	7,14
Min.	5,67	5,67	0,85	0,41	6,10	2,90
Rerata	223,09	223,09	25,49	9,33	11,43	4,18
Akum.	4.684,93	4.684,93	535,39	196,02	-	-

Dari Tabel 2 di atas, dibuat grafik yang disajikan pada Gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Distribusi Kinerja Panel Surya (Utara)

Pada Gambar 2 yang menampilkan grafik distribusi kinerja panel surya yang menghadap ke arah utara, yang memberikan informasi besaran radiasi dan kinerja panel surya. Energi radiasi yang diterima jauh lebih besar baik di atap maupun di dinding jika dibandingkan dengan energi radiasi yang diterima panel surya pada

arah timur. Iradiasi pada fasad vertikal (dinding) lebih rendah dibanding atap, sehingga posisi atap lebih menguntungkan [3]. Pada gambar juga tampak bahwa, daya luaran yang dihasilkan panel surya di posisi atap berada di atas daya luaran yang dihasilkan panel surya yang ditempatkan di dinding. Pada panel surya yang diletakan di atas dengan tepat ke arah utara akan mendapatkan pancaran cahaya matahari sepanjang hari, karena atap merupakan bagian yang rentan dan berkontribusi paling besar terhadap pengaruh matahari [21]. Sementara dinding lebih sedikit menerima pancaran, karena kemiringan yang kurang dari 30°.

Data yang menarik adalah efisiensi panel surya yang ditempatkan menghadap utara sedikit lebih kecil dari efisiensi sel surya yang ditempatkan di timur. Hal dapat dijelaskan, bahwa ketika sel surya sudah mengkonversi menjadi energi listrik, sementara energi radiasi sudah berkurang karena posisi matahari yang telah bergerak menjauh dari tegak lurus dan cuaca yang mulai mendung.

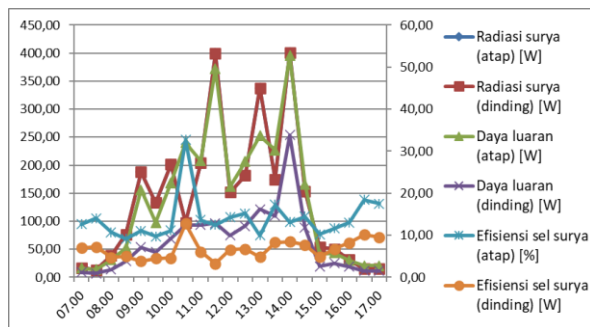
Penempatan panel surya baik di atap maupun di dinding diarahkan tepatnya ke arah barat dari mata angin. Data yang diperoleh hasil

pengukuran radiasi dan kinerja ditampilkan pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Pengukuran Kinerja Panel Surya yang Tepat ke Arah Barat

Pukul [WIB]	Pin[A] (W)	Pin[D] (W)	Pout[A] (W)	Pout[D] (W)	Ef.[A] (%)	Ef.[D] (%)
07.00	17,01	17,01	2,14	1,19	12,60	6,98
07.30	13,23	13,23	1,86	0,95	14,05	7,20
08.00	38,93	38,93	4,18	1,86	10,72	4,77
08.30	76,73	76,73	7,00	3,83	9,13	4,98
09.00	187,87	187,87	20,81	7,14	11,07	3,80
09.30	133,43	133,43	13,01	5,99	9,75	4,49
10.00	201,85	201,85	22,50	9,24	11,15	4,58
10.30	97,90	97,90	32,01	12,49	32,70	12,76
11.00	204,12	204,12	27,74	12,45	13,59	6,10
11.30	399,17	399,17	49,65	12,87	12,44	3,22
12.00	151,58	151,58	21,58	9,94	14,24	6,56
12.30	181,44	181,44	27,54	12,24	15,18	6,75
13.00	337,93	337,93	33,64	16,20	9,96	4,79
13.30	175,01	175,01	30,28	14,60	17,30	8,34
14.00	401,06	401,06	52,70	13,86	13,14	8,44
14.30	153,47	153,47	22,18	11,81	14,46	7,70
15.00	53,68	53,68	5,47	2,61	10,19	4,86
15.30	50,27	50,27	5,84	3,38	11,62	6,73
16.00	31,00	31,00	4,03	2,54	13,01	8,19
16.30	15,12	15,12	2,78	1,53	18,39	10,11
17.00	15,18	15,18	2,78	1,52	17,51	9,56
Maks.	401,06	401,06	52,70	33,86	32,70	12,76
Min.	13,23	13,23	1,86	0,95	9,13	3,22
Rerata	139,84	139,84	18,56	8,49	13,27	6,07
Akum.	2.936,68	2.936,68	389,73	178,21	-	-

Dari tabel diolah menjadi grafik yang digambarkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Distribusi Kinerja Panel Surya (Barat)

Grafik 3 di atas menggambarkan distribusi radiasi dan kinerja panel surya untuk arah barat, yang mana kedua panel surya ditempatkan di atap dan dinding. Pada gambar tampak bahwa grafik daya luaran pada panel surya yang dipasang pada atap memiliki nilai lebih besar dan lebih di awal mencapai puncak daya disbanding dengan daya luaran yang dihasilkan panel surya yang dipasang pada dinding. Panel surya yang dipasang pada atap dan dinding mendapat pancaran cahaya

matahari menjelang siang hari, karena posisinya yang bertolak belakang dengan arah datang cahaya matahari. Panel surya yang di atap mengalami pancaran cahaya matahari dengan pantulan yang sedikit sehingga daya luarannya lebih besar [23]. Panel surya pada dinding dengan arah menghadap ke barat tidak menguntungkan dalam hal memperoleh radiasi cahaya matahari baik dari kemiringan maupun orientasinya yang berpengaruh pada kinerjanya [26].

Dari ketiga posisi penempatan panel surya, maka panel surya yang menghasilkan daya luaran terbesar adalah panel surya yang ditempatkan di utara dengan posisi di atap. Posisi atap dengan kemiringan 30° dan orientasi ke utara bagi wilayah yang berada di selatan garis katulistiwa akan mendapatkan daya luaran yang lebih besar [27]. Sementara untuk panel surya di dinding arah timur yang menghasilkan daya luaran yang paling besar disebabkan dinding pada arah timur lebih dulu dan lebih lama menerima pancaran cahaya matahari dibanding dinding posisi yang lain, meskipun tidak mendapatkan cahaya matahari jatuh tegak lurus.

Ketiga posisi pemasangan panel surya (atap dan dinding) yang ditempatkan di timur, utara, dan barat diakumulasi nilai listriknya yang

tersimpan dalam baterai diperlihatkan Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Nilai Listrik yang Terakumulasi (Tersimpan di Baterai)

Arah	Listrik tersimpan selama 10 jam (10.00 – 17.00 WIB) (kWh)	
	Atap	Dinding
Timur	4,16	2,49
Utara	5,35	1,96
Barat	3,90	1,78

Tabel 3 di atas menginformasikan bahwa nilai listrik atau energi yang tersimpan di baterai terbesar dihasilkan oleh panel surya yang ditempatkan di atap dengan arah ke utara. Dari spesifikasi panel surya yang sama, jika ditempatkan pada kemiringan dan orientasi yang berbeda [27] maka akan menghasilkan energi yang berbeda pula.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Radiasi yang diterima sel surya paling merata pada sel surya yang ditempatkan menghadap ke utara. Daya luaran terbesar diperoleh sel surya di atap pada arah utara yaitu 25,49 W. Efisiensi terbesar pada sel surya di atap yang ditempatkan menghadap ke barat yaitu 13,91%. Perbedaan kinerja antara sel surya di atap dengan sel surya di dinding lebih signifikan pada penempatan menghadap ke utara.

Hasil akumulasi energi yang tersimpan di baterai menunjukkan panel yang dipasang pada atap dan posisi diarahkan ke utara menghasilkan jumlah energi terbesar, yakni 5,35 kWh.

Saran

Penelitian mengenai pengaruh arah datang cahaya matahari dan penempatan panel surya pada model bangunan dapat dikembangkan dengan variasi kemiringan dan orientasi dari semua bagian bangunan pada panel surya ditempatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian (Lemlit) UHAMKA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wideasanti, A. Ayu, and H. Hermawan, "Analisis Penempatan Sel Surya Pada Atap Setengah Lingkaran Sebagai Aplikasi Sistem Tenaga Off Grid," *Transient*, vol. II, no. 3, pp. 791–798, 2013.
- [2] F. Afif and A. Martin, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, p. 43, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [3] S. Armstrong and W. G. Hurley, "A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 30, no. 11–12, pp. 1488–1495, 2010, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012.
- [4] J. Kaldellis and D. Zafirakis, "Experimental investigation of the optimum photovoltaic panels' tilt angle during the summer period," *Energy*, vol. 38, no. 1, pp. 305–314, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2011.11.058.
- [5] E. Sánchez and J. Izard, "Performance of photovoltaics in non-optimal orientations: An experimental study," *Energy Build.*, vol. 87, pp. 211–219, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.11.035.
- [6] C. Y. Lee, P. C. Chou, C. M. Chiang, and C. F. Lin, "Sun tracking systems: A review," *Sensors*, vol. 9, no. 5, pp. 3875–3890, 2009, doi: 10.3390/s90503875.
- [7] M. Kacira, M. Simsek, Y. Babur, and S. Demirkol, "Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey," *Renew. Energy*, vol. 29, no. 8, pp. 1265–1275, 2004, doi: 10.1016/j.renene.2003.12.014.

- [8] E. Biyik *et al.*, “A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 833–858, 2017, doi: 10.1016/j.jestch.2017.01.009.
- [9] B. P. Jelle, C. Breivik, and H. Drolsum Røkenes, “Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 100, no. 7465, pp. 69–96, 2012, doi: 10.1016/j.solmat.2011.12.016.
- [10] Y. Wang, W. Tian, J. Ren, L. Zhu, and Q. Wang, “Influence of a building’s integrated-photovoltaics on heating and cooling loads,” *Appl. Energy*, vol. 83, no. 9, pp. 989–1003, 2006, doi: 10.1016/j.apenergy.2005.10.002.
- [11] A. Kane and V. Verma, “Performance enhancement of building integrated photovoltaic module using thermoelectric cooling,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 320–324, 2013.
- [12] R. A. Agathokleous and S. A. Kalogirou, “Double skin facades (DSF) and building integrated photovoltaics (BIPV): A review of configurations and heat transfer characteristics,” *Renew. Energy*, vol. 89, pp. 743–756, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.12.043.
- [13] B. P. Jelle, “Building integrated photovoltaics: A concise description of the current state of the art and possible research pathways,” *Energies*, vol. 9, no. 1, pp. 1–30, 2016, doi: 10.3390/en9010021.
- [14] T. Zhang, M. Wang, and H. Yang, “A review of the energy performance and life-cycle assessment of building-integrated photovoltaic (BIPV) systems,” *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113157.
- [15] B. P. Jelle and C. Breivik, “State-of-the-art building integrated photovoltaics,” *Energy Procedia*, vol. 20, no. 1876, pp. 68–77, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.03.009.
- [16] C. Good, I. Andresen, and A. G. Hestnes, “Solar energy for net zero energy buildings - A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic-thermal (PV/T) systems,” *Sol. Energy*, vol. 122, no. 2015, pp. 986–996, 2015, doi: 10.1016/j.solener.2015.10.013.
- [17] V. Delisle and M. Kummert, “A novel approach to compare building-integrated photovoltaics/thermal air collectors to side-by-side PV modules and solar thermal collectors,” *Sol. Energy*, vol. 100, pp. 50–65, 2014, doi: 10.1016/j.solener.2013.09.040.
- [18] G. Tsalikis and G. Martinopoulos, “Solar energy systems potential for nearly net zero energy residential buildings,” *Sol. Energy*, vol. 115, no. 2015, pp. 743–756, 2015, doi: 10.1016/j.solener.2015.03.037.
- [19] A. Naveen Chakkaravarthy, M. S. P. Subathra, P. Jerin Pradeep, and N. Manoj Kumar, “Solar irradiance forecasting and energy optimization for achieving nearly net zero energy building,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 10, no. 3, 2018, doi: 10.1063/1.5034382.
- [20] H. Feng, X. Tian, S. Cao, J. Zhao, and S. Deng, “Match performance analysis for a solar-driven energy system in net zero energy building,” *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 394–400, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.010.
- [21] S. K. Sharma, “Zero energy building envelope components: A review,” *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 3, no. 2, pp. 662–675, 2013.
- [22] A. D. Jones and C. P. Underwood, “A thermal model for photovoltaic systems,” *Sol. Energy*, vol. 70, no. 4, pp. 349–359, 2001, doi:10.1016/S0038-092X(00)001493.
- [23] F. Dincer and M. E. Meral, “Critical Factors that Affecting Efficiency of Solar Cells,” *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 01, no. 01, pp. 47–50, 2010, doi: 10.4236/sgre.2010.11007.
- [24] R. Gaos, Yogi Sirodz, “Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC),” vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2019.
- [25] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, First. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2011, doi:10.1002/9780470974704.
- [26] S. H. Yoo and E. T. Lee, “Efficiency characteristic of building integrated photovoltaics as a shading device,” *Build. Environ.*, vol. 37, no. 6, pp. 615–623, 2002, doi: 10.1016/S0360-1323(01)00071-3.
- [27] A. Hasyim, Jatmiko, “Daya Keluaran Panel Sel Surya,” *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS*, pp. 52–57, 2012.