

## Pengaruh Arah Datang Cahaya Matahari terhadap Kinerja Sistem *Photovoltaic*

Nur Rohman, Rifky\*, Riyan Ariyansah & M. Shofriyan Efendi  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika  
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA  
Jl. Tanah Merdeka No. 6, Rambutan, Ciracas, Jakarta Timur,  
DKI Jakarta, Indonesia.  
Corresponding author: [rifky@uhamka.ac.id](mailto:rifky@uhamka.ac.id)

### Abstrak

Bangunan sebagai sumber energi bukanlah sesuatu yang luar biasa, seperti dalam teknologi BIPV (*building-integrated photovoltaic*). Demikian pula, menjadikan bangunan sebagai NZEB (*net zero energy building*) telah menjadi kebutuhan dalam konteks penghematan penggunaan energi. Salah satu konverter energi yang telah digunakan dalam bangunan adalah PLTS atau sel surya, yang merupakan pembangkit listrik yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik (*sistem fotovoltaik*). Proses konversi dipengaruhi oleh arah cahaya matahari yang datang ke posisi sel surya yang ditempatkan di atap bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arah cahaya matahari terhadap kinerja sel surya, sehingga diperoleh dari arah cahaya matahari yang tepat. Sel surya dihadapkan ke utara, timur, dan barat. Parameter input untuk setiap arah adalah intensitas radiasi matahari, kelembaban udara, kecepatan angin, suhu udara, suhu sisi atas, dan suhu sisi bawah sel surya. Sementara itu, parameter output yang dihasilkan adalah tegangan listrik dan arus listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arah utara tanpa pendinginan menghasilkan total daya output sebesar 666,59 W dan efisiensi rata-rata sebesar 13,54%, bagi yang menggunakan pendingin menghasilkan total daya output sebesar 737,71 W dan efisiensi rata-rata sebesar 14,16%. Arah timur menghasilkan total daya output sebesar 454,81 W dan efisiensi rata-rata sebesar 11,51%, bagi yang menggunakan sistem pendingin menghasilkan total daya output sebesar 542,25 W dan efisiensi rata-rata sebesar 13,90%. Arah barat menghasilkan total daya output sebesar 340,33 W dan efisiensi rata-rata sebesar 13,22%, bagi yang menggunakan sistem pendingin menghasilkan total daya output sebesar 550,72 W dan efisiensi rata-rata sebesar 13,29%. Kinerja tertinggi dari sel surya diperoleh dari sel surya yang ditempatkan ke arah Utara menggunakan pendingin di mana total daya output sebesar 737,71 W dan efisiensi rata-rata sebesar 14,16%, dan bagi tanpa sistem pendingin total daya output sebesar 666,59 W dan efisiensi rata-rata sebesar 13,54%.

**Kata Kunci:** Fotovoltaik, Efisiensi, Daya Output

### Abstract

Building as a source of energy is not something extraordinary, as in BIPV (*building-integrated photovoltaic*) technology. Likewise, making buildings a NZEB (*net zero energy building*) has become a necessity in the context of saving energy use. One energy converter that has been used in buildings is PLTS or solar cells, which is a power plant that converts solar radiation into electrical energy (*photovoltaic system*). The conversion process is influenced by the direction of sunlight coming to the position of the solar cells that are placed on the roof of the building. This study aims to determine the effect of the direction of sunlight on the performance of solar cells, so that it is obtained from the right direction of sunlight. Solar cells are exposed to the north, east and west. The input parameters for each direction are the intensity of solar radiation, air humidity, wind speed, air temperature, upper side temperature and lower side temperature of the solar cell. Meanwhile, the resulting output parameters are electric voltage and electric current. The results showed that the north direction without cooling produced a total output power of 666.59 W and an average efficiency of 13.54%, for those using the cooler produced a total output power of 737.71 W and an average efficiency of 14.16%. East direction produces a total output power of 454.81

*W and an average efficiency of 11.51%, for those using the cooling system it produces a total output power of 542.25 W and an average efficiency of 13.90%. West direction produces a total output power of 340.33 W and an average efficiency of 13.22% for those using a cooling system resulting in a total output power of 550.72 W and an average efficiency of 13.29%. The highest performance of solar cells is obtained from solar cells that are placed towards the North using a cooler where the total output power is 737.71 W and an average efficiency of 14.16%, and for without a cooling system the total output power is 666.59 W and the average efficiency is 13.54%.*

**Keywords:** Photovoltaic, Efficiency, Output Power

## 1. LANDASAN TEORI

### 1.1 Latar Belakang

Isu mengenai krisis energi konvensional, khususnya energi tak terbarukan, semakin mendominasi perbincangan di media global. Menipisnya sumber cadangan energi fosil, yang telah lama menjadi tulang punggung penyediaan energi, menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan, termasuk pencemaran dan perubahan iklim. Dalam konteks ini, keberlanjutan energi menjadi semakin penting, dan kebutuhan akan energi terbarukan yang ramah lingkungan tidak dapat ditunda lagi [1]. Salah satu sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yang menjanjikan adalah energi surya. Menurut proyeksi, pada tahun 2050, energi surya diperkirakan akan mendominasi penyediaan energi global hingga 45% [2].

Indonesia, sebagai negara yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi surya, dengan cadangan radiasi mencapai sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup> per hari. Sebagian besar energi ini berasal langsung dari radiasi matahari, di mana hanya sekitar 50% dari total konstanta matahari sebesar 1353 W/m<sup>2</sup> dapat disuplai ke Bumi. Menyadari potensi tersebut, pemanfaatan energi matahari melalui sistem photovoltaic (sel surya) semakin populer, terutama diaplikasikan pada atap bangunan untuk menangkap cahaya matahari secara maksimal. Namun, tidak jarang dinding bangunan juga terpapar radiasi matahari yang berpotensi dimanfaatkan [3].

Untuk meningkatkan efisiensi penyerapan radiasi, penempatan sel surya memerlukan sudut kemiringan yang optimal. Penelitian menunjukkan bahwa sudut optimal untuk panel surya adalah 10°, meskipun pada waktu

tertentu, seperti pukul 09:00, sudut yang lebih ideal bisa mencapai 60°. Selain itu, temperatur sel surya memiliki pengaruh langsung terhadap kinerjanya. Suhu ideal bagi sel surya adalah sekitar 25°C; kenaikan suhu dapat mengakibatkan penurunan tegangan [4]. Oleh karena itu, penggunaan sistem pendingin sangat penting untuk menjaga suhu modul tetap stabil, sehingga dapat mengoptimalkan penyerapan radiasi matahari yang akan dikonversi menjadi energi Listrik [5].

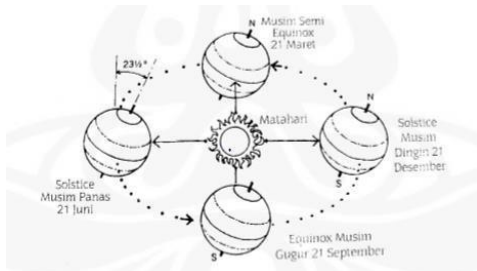
Meskipun efisiensi maksimum sel surya dapat mencapai 36,7% dalam kondisi Uji Standar Konsentrator (CSTC), terdapat perbedaan signifikan dalam kinerja sel surya yang dipasang di belahan selatan dan utara garis katulistiwa di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih lanjut pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap efisiensi dan performa sistem photovoltaic, serta memberikan rekomendasi untuk pemanfaatan energi surya yang lebih efektif di Indonesia [6].

Dengan kerangka ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan dan implementasi teknologi energi terbarukan di Indonesia, serta mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang tidak berkelanjutan. Yang sesuai dalam penerapan panel surya untuk atap dan dinding bagian luar.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Matahari

Setiap hari matahari terbit dari Timur menuju ke Barat. Posisi matahari tidak selalu tetap dan tidak berhimpitan dengan garis khatulistiwa hanya pada tanggal 21 Maret dan 23 September matahari melewati garis khatulistiwa [7].



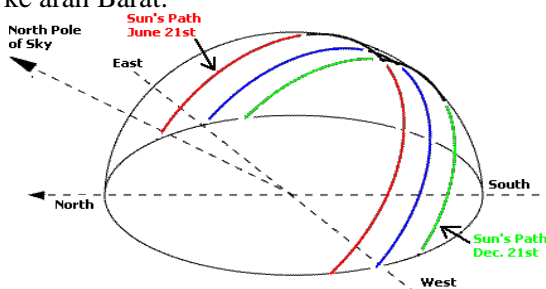
Gambar 1 Lintas orbit bumi mengelilingi matahari

Radiasi matahari sampai ke permukaan bumi melalui dua macam cara, yaitu [8]:

1. Radiasi Langsung (*Direct Radiation*) Radiasi langsung merupakan radiasi matahari yang memancarkan sinarnya secara tegak lurus atau sejajar ke arah bumi dan disebabkan jernihnya atmosfer.
2. Radiasi Tersebar (*Diffuse Radiation*) Radiasi tersebar merupakan pancaran radiasi yang terpantulkan atau terhamburkan karena adanya hambatan semacam debu dalam atmosfer dan uap air dalam awan.

2.2 Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang dikeluarkan oleh matahari, energi surya ini meradiasi ke bumi dan dimanfaatkan oleh manusia untuk digunakan sebagai PLTS. Energi matahari dibagi menjadi dua yaitu energi cahaya dan energi termal. Jika dilihat dari bumi, matahari bergerak dari arah Timur ke arah Barat.



Gambar 2 Lintasan tahunan matahari

Ada 2 (dua) cara untuk memanfaatkan energi surya, yaitu :

1. Energi cahaya Energi cahaya adalah energi yang berasal dari energi matahari (sinar/cahaya) yang dimanfaatkan menjadi energi listrik melalui sel surya.
2. Energi termal

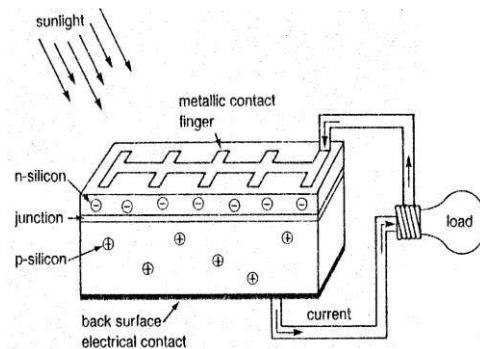
Energi termal adalah energi panas yang berasal dari panas matahari yang diubah menjadi energi listrik melalui termoelektrik.

2.3 PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

PLTS adalah pembangkit listrik yang mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. PLTS merupakan energi ramah lingkungan, sehingga jenis energi ini diproyeksikan menjadi energi masa depan. PLTS tersusun dari modular *solar cell* (sel surya) atau yang lebih dikenal dengan sistem *photovoltaic*. *Photovoltaic* dibuat dari material semikonduktor terutama silikon. *Photovoltaic* terdiri dari dua kata, "photo" yaitu cahaya dan "voltaic" yaitu yang mengacu pada tenaga listrik [2].

2.4 Kinerja PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Sel surya terdiri dari semikonduktor bertipe *p* dan *n* (*p-n junction semiconductor*) sehingga terkena pancaran radiasi matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Semikonduktor tipe *n* ini memiliki kelebihan elektron sehingga kelebihan muatan negatif (*n* = negatif). Semikonduktor tipe *n* memiliki kelebihan *hole* sehingga memiliki kelebihan muatan positif (*p* = positif). Elektron maupun *hole* memiliki jumlah muatan yang sama sehingga dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor [10].



Gambar 3 Diagram dari sebuah potongan sel surya

2.4.1 Daya Luaran dan Efisiensi

Sel surya akan mendapatkan intensitas cahaya yang besar ketika siang hari

dibandingkan pagi hari, diukur melalui arus ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) pada panel atau modul. Pengukuran arus maksimal dilakukan dengan cara kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubungan singkat, dinamakan pengukuran *open circuit voltage* atau  $V_{oc}$  [10].

Daya luaran sel surya dapat diperoleh dari persamaan: [12].

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (4)$$

FF (*fill factor*) adalah kualitas daya. Besarnya FF dapat dihitung menggunakan persamaan: [10].

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \text{ atau} \\ FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (5)$$

Efisiensi energi cahaya adalah perbandingan antara daya luaran dengan daya masuk. Daya masuk sel surya adalah daya dari total sinar matahari yang masuk ke sel surya. Dapat ditulis persamaannya:

$$P_{out} = G \times A \quad (6)$$

Berdasarkan hasil substitusi antara persamaan (5) dan (6) maka diperoleh persamaan ke (7), sehingga dapat diperoleh melalui persamaan (8) [10].

$$P_{out} = P_{mp} \quad (7)$$

$$= \frac{P_{mp}}{P_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

## 2.5 Sistem Pendingin

Kinerja dan efisiensi sel surya tipe polikristalin akan turun ketika suhu naik, agar suhu tetap dalam kondisi yang diinginkan atau dikehendaki sangat diperlukan pendingin untuk menstabilkan suhu yang ada pada sel surya [13].

Pendingin dengan menggunakan media air yang diletakan di bawah panel surya dapat meningkatkan efisiensi 9,551% dengan intensitas cahaya matahari 1010 W/m<sup>2</sup> [14].

## 2.6 Teknik Pemasangan Panel pada Bangunan

Negara Indonesia adalah negara yang beriklim tropis. Pada umumnya sel surya dipasang dalam keadaan tetap (*fixed*) dan untuk di Indonesia karena Indonesia terletak dibelahan bumi selatan maka untuk pemasangan panel surya cenderung lebih datar karena Indonesia berada pada garis khatulistiwa. Panel surya diposisikan tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari tepat pada siang hari [9].

Ada 3 sistem rangkaian PV: [11].

1. Sistem DC semua
2. Sistem DC dan AC
3. Sistem interaktif DC, AC dan jaringan listrik lokal PLN.

### 2.6.1 Pengaruh Posisi Modul Surya (*Photovoltaic*) terhadap Pergerakan Arah Matahari

Dengan mengatur kedudukan posisi sel surya dengan benar maka akan didapatkan radiasi matahari yang maksimal. Untuk mendapatkan pancaran radiasi yang optimal perlu memperhatikan posisi-posisi sebagai berikut: [15]

1. *Latitude* (garis lintang)  
*Latitude* adalah garis khatulistiwa yang terbentang menuju ke arah utara atau selatan, utara positif =  $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$ . Hal ini pengujian dilaksanakan di tempat kampus teknik uhamka yang menunjukkan titik koordinatnya pada 6° 18' 24.6" lintang selatan dan 106°52'24.1" bujur timur [16].
2. Deklinasi ( $\delta$ )  
Deklinasi adalah sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa, diperoleh dengan persamaan:  
$$\delta = 23,45^\circ \sin \left( 260 \frac{24xn}{365} \right)$$
 dimana  $n$  = hari dalam bulan.
3. Kemiringan  
Sudut antara permukaan bidang yang dinyatakan dengan bidang horizontal dapat diperoleh dari persamaan:  
$$\beta = \tan^{-1} (\tan \theta_z \times \cos \gamma_s)$$
4. Sudut permukaan azimuth ( $\gamma$ )  
Proyeksi ke bidang horizontal terhadap

permukaan dari lokasi bujur, selatan nol, timur negatif, barat positif;  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$

- Sudut jam matahari  
Matahari berotasi pada porosnya sebesar  $15^\circ$  per jam, sebelum jam 12:00 negatif dan setelah jam 12:00 positif.

$$\omega = (t_s - 12) \times \frac{360}{24}, \text{ ts} = \text{waktu jam}$$

- Sudut datang ( $\theta$ )  
Sudut datang adalah antara sudut radiasi langsung dan sudut radiasi kolektor.

$$\theta = \cos^{-1}(1 - \cos^2 \delta \times \sin^2 \omega)^{1/2}$$

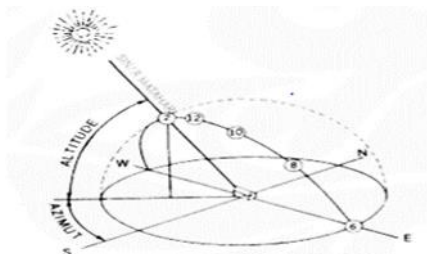
- Sudut zenith ( $\theta_2$ )  
Sudut antara garis vertikal dengan garis datang sinar matahari.

$$\theta_2 = \cos^{-1}(\cos \Phi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \Phi \times \sin \delta)$$

- Sudut ketinggian matahari  
Pada modul surya garis horizontal dengan garis matahari datang

- Sudut azimuth matahari  
Sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi bidang horizontal. Timur adalah negatif dan barat adalah positif, dapat didapatkan dengan persamaan:

$$\gamma = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \delta \times \cos \omega}{\sin \theta} \right)$$



Gambar 4 Sudut altitude dan azimuth

## 2.7 BIPV (Building-integrated Photovoltaics)

Teknologi BIPV merupakan material atau komponen yang digunakan sebagai komponen sebuah bangunan, khususnya fitur-fitur seperti pada bagian muka bangunan (fasad) atau atap bangunan, sekaligus sebagai penyedia sel surya pada bangunan tersebut. Teknologi ini mengacu pada metode pemanfaatan Photovoltaic untuk menggantikan bahan bangunan tradisional dengan mengintegrasikannya ke dalam muka bangunan, seperti atap, jendela,

fasad dan balkon seperti model photovoltaic menjadi pengganti genteng [17].

Keuntungan utama menggunakan teknologi BIPV adalah [17]:

- Isolasi termal (besaran radiasi matahari terhadap bangunan)
- Merespon untuk imajinasi arsitek.
- Ramah lingkungan
- Dinding terhindar dari radiasi matahari secara langsung
- Menambah estetika pada bangunan dan menarik secara visual

Dengan demikian teknologi BIPV sangat cocok diterapkan pada bangunan baru. Aplikasi lain untuk BIPV adalah menambah modul PV pada muka bangunan sehingga dapat dengan mudah dipasang pada bangunan-bangunan tua [17].

## 2.8 Zero Energy Building (ZEB)

Penerapan energy efficiency and conservation pada bangunan untuk memanfaatkan dan memaksimalkan energi alami dengan menggunakan energi terbarukan [18]:

- Pemanfaatan energi angin dengan menggunakan kincir angin, yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik
- Pemanfaatan energi air dengan menggunakan kincir air, prinsipnya sama dengan kincir angin namun energi penggerakannya yang berbeda air dan angin (jenis fluida).
- Pemanfaatan panel energi surya, energi ini memanfaatkan radiasi cahaya matahari yang diserap oleh modul yang nantinya diubah menjadi energi listrik.

Zero energy building (ZEB) adalah suatu upaya yang lebih progresif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan energi tak terbarukan. Konsep ini merupakan sebuah strategi efisiensi energi yang bertujuan menghemat cadangan energi yang statusnya saat ini sedang berada dibawah tekanan. Diharapkan dengan penerapan konsep ini efisiensi energi pada bangunan akan meningkat dan secara bersamaan mampu menjaga kualitas hidup manusia serta

alam sekitar [1].

Secara harfiah *zero energy building* (ZEB) dapat diartikan sebagai bangunan tanpa energi. *Zero energy building* merupakan konsep yang dapat mencukupi kebutuhan energinya sendiri dari sumber energi terbarukan, seperti matahari, angin, air [1].

3	Solar power meter	Berfungsi untuk mengukur intensitas matahari
4	Power supply	Dual volt amper meter digital yang dapat digunakan untuk mengukur arus (amper) dan tegangan (volt)
5	Anemometer	Berfungsi untuk mengukur kecepatan angin yang melewati alat uji.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA Lt. 5, mulai bulan Februari s/d Agustus 2020.

#### 3.2 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat seperti gambar 5.



Gambar 5 Alat Penelitian

#### 3.3 Bahan dan Alat Penelitian

##### 3.3.1 Alat – alat

Tabel 1 Alat-alat Penelitian

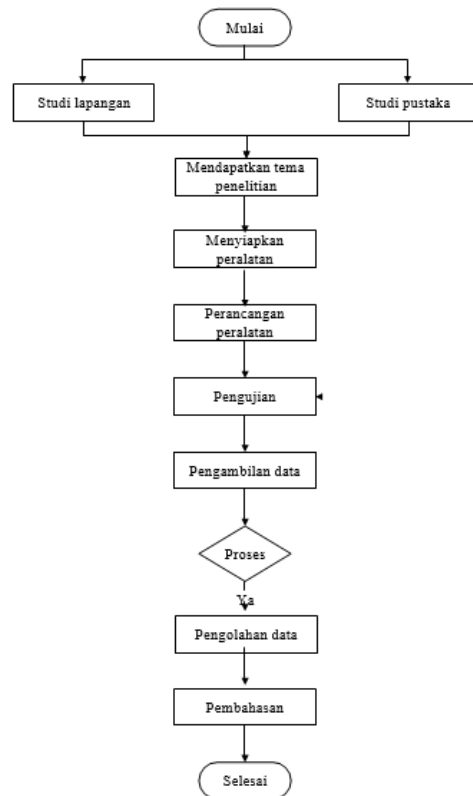
No	Nama Alat	Fungsi
1	Multimeter	Berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan arus listrik.
2	Thermometer	Berfungsi untuk mengukur temperatur

##### 3.3.2 Bahan

1. Air
2. Es batu

#### 3.4 Diagram Alur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan tahapan penelitian agar penelitian dapat berjalan secara terstruktur.



Gambar 6 Diagram alur penelitian

#### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan
2. Pengerjaan simulasi penelitian
3. Pengukuran
4. Pengolahan data
5. Pembahasan

6. Simpulan

3.6 Metode Pengambilan, Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan di lantai 5 Fakultas Teknik UHAMKA dengan mengukur radiasi panas matahari, kecepatan angin, temperatur, *voltage* dan arus yang dihasilkan. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 6 Juli dan 25 Agustus 2020. Metode pengumpulan dan pengolahan data dilakukan dengan memasukan data dalam bentuk tabulasi (tabel) yang sebelumnya dilakukan perhitungan menggunakan rumus yang tersedia dalam teori serta menampilkannya dalam bentuk grafik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Setelah melakukan pengambilan data maka didapatkan data berikut: kecepatan angin (m/s), intensitas radiasi (W/m<sup>2</sup>), kelembaban udara, temperatur lingkungan, temperatur panel surya, temperatur pendingin, temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur air (bak), debit air (lpm), tegangan (volt), arus (ampere). Data-data yang telah terkumpul dimasukkan ke dalam tabel.

4.2 Hasil Penelitian

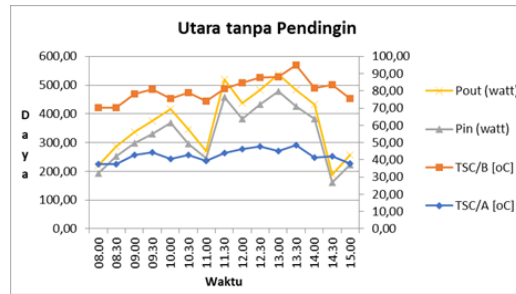
Dalam pembahasan ini dilakukan terlebih dahulu pengolahan data. Data yang diolah berasal dari data mentah yang dimasukkan dalam perhitungan dan kembali ditabulasikan.

Tabel 2 Perhitungan Daya Luaran Tanpa Pendingin

SEL SURYA (ATAPI TANPA PENDINGIN)												
NO	Pukul	TL [°C]	TSC/A [°C]	TSC/B [°C]	M/w/m <sup>2</sup>	v <sub>w</sub> /s	A m <sup>2</sup>	Pin (watt)	V (volt)	I (ampere)	Pout (watt)	
1	08.00	31,70	40,30	34,80	935,00	0,00	0,38	202,13	21,10	1,41	29,75	14,71
2	08.30	35,20	45,70	37,10	638,00	1,00	0,38	241,16	21,10	1,73	36,50	15,14
3	09.00	36,50	47,20	38,40	754,00	1,10	0,38	285,01	21,10	2,03	42,83	15,00
4	09.30	34,50	45,70	38,00	850,00	2,80	0,38	321,30	21,10	2,24	47,26	14,71
5	10.00	31,50	45,70	38,30	978,00	3,80	0,38	389,68	21,10	2,51	52,96	14,39
6	10.30	37,20	46,40	40,20	1049,00	5,20	0,38	394,45	21,10	2,67	56,24	14,29
7	11.00	38,00	47,50	39,80	1200,00	2,40	0,38	427,14	21,10	2,78	58,24	13,61
8	11.30	37,50	45,60	39,10	1167,00	6,40	0,38	441,13	21,10	2,83	59,71	13,54
9	12.00	38,80	48,60	41,60	1183,00	4,40	0,38	447,17	21,10	2,82	59,50	13,31
10	12.30	39,70	50,10	42,00	1123,00	5,60	0,38	424,49	20,80	2,76	57,41	13,51
11	13.00	38,80	47,10	39,10	1090,00	2,70	0,38	412,78	21,00	2,66	55,86	13,53
12	13.30	39,40	47,50	39,80	990,00	3,00	0,38	374,22	21,10	2,49	52,54	14,04
13	14.00	38,30	46,30	39,10	896,00	2,70	0,38	334,91	21,20	2,28	48,24	14,43
14	14.30	38,00	44,40	38,70	773,00	3,40	0,38	292,19	20,90	2,09	43,66	14,86
15	15.00	35,80	42,60	36,40	638,00	0,60	0,38	241,16	20,90	1,76	36,76	15,25
MAKS	37,60	50,10	42,00	1183,00	6,40	0,38	447,17	21,20	2,83	59,71	15,25	
MINI	31,70	40,30	34,80	935,00	0,00	0,38	202,13	20,80	1,41	29,75	13,31	
RATA-RATA	37,01	45,91	38,69	916,67	3,08	0,38	347,16	21,06	2,34	49,18	14,16	
TOTAL	585,20	688,70	580,40	13780,00	46,20	5,67	5208,84	315,80	33,04	737,71		

Hasil pengolahan data pada tabel 1 di atas kemudian dijadikan grafik yang menggambarkan hubungan antara waktu

pengukuran dengan semua variabel sistem fotovoltaik. Dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7

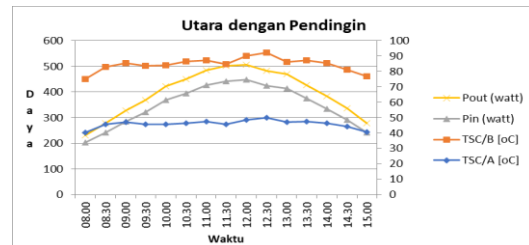
Daya luaran, daya masukan, dan temperatur sel surya atas dan bawah

Jika radiasi rendah maka temperatur panel surya juga akan turun dan peningkatan temperatur ini yang akan menimbulkan daya luaran itu menurun [19].

Tabel 3 Perhitungan Daya Luaran dengan Pendingin

SEL SURYA (ATAPI DENGAN PENDINGIN)												
NO	Pukul	TL [°C]	TSC/A [°C]	TSC/B [°C]	M/w/m <sup>2</sup>	v <sub>w</sub> /s	A m <sup>2</sup>	Pin (watt)	V (volt)	I (ampere)	Pout (watt)	
1	08.00	31,70	40,30	34,80	935,00	0,00	0,38	202,13	21,10	1,41	29,75	14,71
2	08.30	35,20	45,70	37,10	638,00	1,00	0,38	241,16	21,10	1,73	36,50	15,14
3	09.00	36,50	47,20	38,40	754,00	1,10	0,38	285,01	21,10	2,03	42,83	15,00
4	09.30	34,50	45,70	38,00	850,00	2,80	0,38	321,30	21,10	2,24	47,26	14,71
5	10.00	31,50	45,70	38,30	978,00	3,80	0,38	389,68	21,10	2,51	52,96	14,39
6	10.30	37,20	46,40	40,20	1049,00	5,20	0,38	394,45	21,10	2,67	56,24	14,29
7	11.00	38,00	47,50	39,80	1200,00	2,40	0,38	427,14	21,10	2,78	58,24	13,61
8	11.30	37,50	45,60	39,10	1167,00	6,40	0,38	441,13	21,10	2,83	59,71	13,54
9	12.00	38,80	48,60	41,60	1183,00	4,40	0,38	447,17	21,10	2,82	59,50	13,31
10	12.30	39,70	50,10	42,00	1123,00	5,60	0,38	424,49	20,80	2,76	57,41	13,51
11	13.00	38,80	47,10	39,10	1090,00	2,70	0,38	412,78	21,00	2,66	55,86	13,53
12	13.30	39,40	47,50	39,80	990,00	3,00	0,38	374,22	21,10	2,49	52,54	14,04
13	14.00	38,30	46,30	39,10	896,00	2,70	0,38	334,91	21,20	2,28	48,24	14,43
14	14.30	38,00	44,40	38,70	773,00	3,40	0,38	292,19	20,90	2,09	43,66	14,86
15	15.00	35,80	42,60	36,40	638,00	0,60	0,38	241,16	20,90	1,76	36,76	15,25
MAKS	37,60	50,10	42,00	1183,00	6,40	0,38	447,17	21,20	2,83	59,71	15,25	
MINI	31,70	40,30	34,80	935,00	0,00	0,38	202,13	20,80	1,41	29,75	13,31	
RATA-RATA	37,01	45,91	38,69	916,67	3,08	0,38	347,16	21,06	2,34	49,18	14,16	
TOTAL	585,20	688,70	580,40	13780,00	46,20	5,67	5208,84	315,80	33,04	737,71		

Pada sistem fotovoltaik yang menggunakan sistem pendingin, variabel ditambahkan yaitu temperatur pendingin. Sementara variabel lainnya sama dengan variabel sistem fotovoltaik yang tidak menggunakan sistem pendingin. Dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8

Daya luaran, daya masukan dan temperatur sel surya atas dan bawah.

Daya luaran dipengaruhi oleh

intensitas radiasi matahari, temperatur panel surya dan tegangan yang nantinya akan dikalikan antara tegangan dan arus akan dihasilkan daya luaran [14].

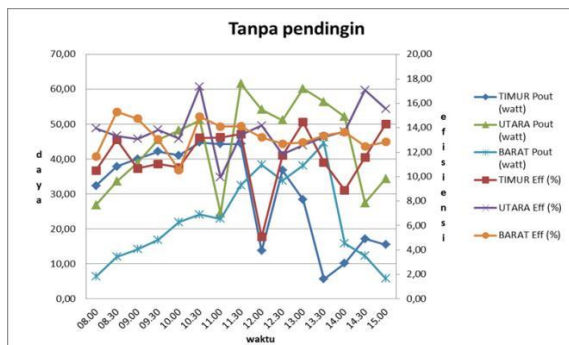
#### 4.2.1 Pengaruh Arah Datang Matahari terhadap Kinerja

##### 4.2.1.1 Sistem tanpa Pendingin

Tabel 4 Daya keluaran dan efisiensi 3 (tiga) arah tanpa pendingin

TANPA PENDINGIN							
NO	Pukul	TIMUR		UTARA		BARAT	
		Pout (watt)	Eff (%)	Pout (watt)	Eff (%)	Pout (watt)	Eff (%)
1	08.00	32,42	10,50	26,91	13,96	6,44	11,67
2	08.30	37,88	13,01	33,65	13,33	12,04	15,31
3	09.00	40,11	10,66	38,90	13,09	14,21	14,74
4	09.30	42,21	11,05	45,55	13,84	16,93	13,05
5	10.00	41,13	10,74	48,28	13,11	22,00	10,54
6	10.30	44,80	13,17	51,17	17,35	24,12	14,91
7	11.00	44,35	13,21	24,48	9,95	22,91	14,10
8	11.30	44,35	13,47	61,57	13,43	32,56	14,12
9	12.00	13,78	5,06	54,18	14,18	38,42	13,22
10	12.30	36,82	11,72	51,17	11,82	33,83	12,69
11	13.00	28,43	14,46	60,20	12,58	38,20	12,79
12	13.30	5,66	11,16	56,44	13,24	44,66	13,35
13	14.00	10,14	8,89	52,21	13,69	15,88	13,64
14	14.30	17,20	11,58	27,46	17,09	12,32	12,49
15	15.00	15,52	14,31	34,44	15,55	5,82	12,83
MAKS		44,80	14,46	61,57	17,35	44,66	15,31
MINI		5,66	5,06	24,48	9,95	5,82	10,54
RATARATA		30,32	11,51	44,44	13,54	22,69	13,22
TOTAL		454,81		666,59		340,33	

Tabel 5 setelah didapatkan  $P_{out}$  dan nilai efisiensi antara 3 arah. Lalu dijadikan satu tabel untuk menentukan arah mana yang paling efektif untuk penerapan sistem *photovoltaic* di kampus FT UHAMKA. Hasil dari tabel 5 ini dijadikan grafik dengan menghubungkan waktu pengambilan dan variabel dengan sumbu Y untuk variabel dan sumbu X untuk waktu.



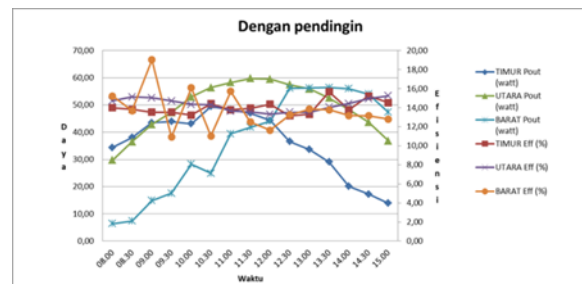
Gambar 9 Grafik daya luaran dan efisiensi dari 3 arah

##### 4.2.1.2 Sistem dengan Pendingin

Tabel 5 Data perhitungan dengan pendingin dari tiga arah timur, utara dan barat

DENGAN PENDINGIN							
NO	Pukul	TIMUR		UTARA		BARAT	
		Pout (watt)	Eff (%)	Pout (watt)	Eff (%)	Pout (watt)	Eff (%)
1	08.00	34,39	13,98	29,75	14,71	6,38	15,22
2	08.30	38,01	13,83	36,50	15,14	7,39	13,68
3	09.00	43,47	13,53	42,83	15,03	14,88	19,02
4	09.30	43,89	13,53	47,26	14,71	17,60	10,90
5	10.00	43,05	13,21	52,96	14,33	28,27	16,09
6	10.30	49,47	14,40	56,34	14,29	24,90	11,03
7	11.00	48,20	13,77	58,24	13,63	39,46	15,72
8	11.30	46,99	13,95	59,71	13,54	41,77	12,50
9	12.00	44,27	14,37	59,50	13,31	44,03	11,64
10	12.30	36,54	13,15	57,41	13,52	56,16	13,24
11	13.00	33,64	13,30	55,86	13,53	56,24	13,85
12	13.30	29,03	15,67	52,54	14,04	56,34	13,79
13	14.00	20,10	13,77	48,34	14,43	55,95	13,18
14	14.30	17,26	15,22	43,68	14,95	54,03	13,15
15	15.00	13,94	14,52	36,78	15,25	47,32	12,80
MAKS		49,47	15,67	59,71	15,25	56,34	19,02
MINI		13,94	13,15	29,75	13,31	6,38	10,90
RATARATA		36,15	13,90	49,18	14,16	36,71	13,29
TOTAL		542,25		737,71		550,72	

Tabel 5 setelah didapatkan  $P_{out}$  dan nilai efisiensi antara 3 arah dengan menggunakan sistem pendingin. Lalu dijadikan satu tabel untuk menentukan arah mana yang paling efektif untuk penerapan sistem *photovoltaic* di kampus FT UHAMKA. Hasil dari tabel 5 ini dijadikan grafik dengan menghubungkan waktu pengambilan dan variabel dengan sumbu Y untuk variabel dan sumbu X untuk waktu.



Gambar 10 Grafik daya luaran dan efisiensi 3 arah

## 5. SIMPULAN

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari ketiga arah posisi arah datang cahaya matahari, yaitu Timur, Utara dan Barat didapatkan bahwa kinerja sistem *photovoltaics* menghasilkan daya luaran terbesar (666,59 watt) dan efisiensi rata-rata (13,54 %) diperoleh dari posisi arah Utara.
2. Sistem pendingin menunjukkan pengaruhnya pada kinerja sistem *photovoltaics*, dimana daya luaran yang dihasilkan sebesar 737,71 watt dan efisiensi rata-rata 14,16 % dibandingkan dengan tanpa pendingin yang menghasilkan daya 666,59 watt dan efisiensi rata-rata 13,54%



3. Sistem *photovoltaic* yang ditempatkan pada bagian luar gedung terutama atap menjadi bagian dari model pengembangan BIPV dan ZEB, karena berkontribusi energi yang dibutuhkan gedung.

#### KEPUSTAKAAN

- [1] E. D. Magdalena and L. Tondobala, "Implementasi Konsep Zero Energy Building ( Zeb ) Dari Pendekatan Eco-Friendly Pada Rancangan Arsitektur," vol. 13, no. 1, pp. 1–15, 2016.
- [2] Y. S. G. Rifky, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics ( PV ) dan Thermoelectric ( TEC )," vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2019.
- [3] Kuncoro wahyu, "No Title," UHAMKA, 2019.
- [4] S. Bahari and A. Laka, "Pengaruh Perubahan Arah Sudut Sel Surya Terhadap Tegangan," no. November, pp. 1–2, 2017.
- [5] I. A. Kurniawan, "Tenaga Surya ( Plts ) Sebagai Pemanfaatan Solar Potential Analysis As Steam Power Plant ( Paiton ) Area," pp. 1–99, 2016.
- [6] D. E. Putri, D. Harjunowibowo, and A. Fauzi, "Harvesting Energy Panas Matahari Menggunakan Thermoelectric Dan Photovoltaic," vol. 6, pp. 63–68, 2015.
- [7] H. Abbas Padil, "Dasar-Dasar Ilmu Falak Dan Tataordinat: Bola Langit dan Peredaran Matahari," vol. 2, no. 2, pp. 195–214, 2013.
- [8] M. F. Rizal, "Penerapan Panel Fotovoltaik," 2008.
- [9] M. Rif, S. Hp, M. Shidiq, R. Yuwono, and H. Suyono, "Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas," vol. 6, no. 1, pp. 44–48, 2012.
- [10] R. Alfanz, R. Sumaedi, and J. Jendral, "Analisis Sistem Fotovoltaik Menggunakan Respon Dinamika Induksi pada Lilitan Kawat Tembaga," vol. 4, no. 1, pp. 6–11, 2015.
- [11] D. S. Mintorogo, "Strategi Aplikasi Sel Surya ( Photovoltaic Cells ) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial," vol. 28, no. 2, pp. 1–31, 2000.
- [12] rudi kurnianto karnadi, ayong hiendro, "Peningkatan daya output panel surya dengan penambahan reflektor cermin datar dan alluminium foil," pp. 2–4, 2017.
- [13] H. Isyanto and P. G. Chamdareno, "Pendingin untuk peningkatan daya keluaran panel surya," no. November, pp. 1–2, 2017.
- [14] R. Pido and S. Himran, "Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi," vol. 19, no. 1, pp. 31–38, 2018.
- [15] D. Muchammad, Eflita Yohana, "Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kemiringan Modul Surya 50 Watt Peak Dengan Posisi Megikuti Pergerakan Arah Matahari."
- [16] www.google.maps, "No Title." 2020.
- [17] A. B. Photovoltaic and B. Systems, "A Review of the Energy Performance and Life-Cycle," 2018, doi: 10.3390/en11113157.
- [18] E. Elpetina et al., "Penerapan Near Zero- Net Energy Terhadap Bangunan Hunian Apartemen," vol. 5, no. 2, pp. 63–65, 2016.
- [19] E. Roza, M. Mujirudin, and P. Studi teknik elektro, "Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas," vol. 4, no. 1, pp. 1–31, 2019.