



Jurnal Artikel

Pengaruh Pendinginan terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi Sistem Panel Surya

M. Shofriyan Efendi¹, Rifky^{2*}, Yos Nofendri³, Nurrohman⁴

^{1,2,3,4}, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

*Corresponding author – Email: rifky@uhamka.ac.id

Artikel Info - : Received: 24 Oct 2024; Revised: 26 Oct 2024; Accepted: 27 Oct 2024

Abstrak

Salah satu aplikasi energi terbarukan yang memanfaatkan energi matahari adalah panel surya atau sistem fotovoltaik. Kinerja sistem fotovoltaik dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya matahari dan temperatur permukaan panel surya itu sendiri. Penelitian ini mencoba mengatasi masalah temperatur tersebut dengan membuat sistem pendingin yang dirangkai pada bagian bawah panel surya. Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah untuk mendapatkan daya keluaran dan efisiensi sistem fotovoltaik yang maksimal dengan memasang sistem pendingin. Sistem fotovoltaik diekspos ke arah utara sepanjang hari. Sistem fotovoltaik tanpa menggunakan sistem pendingin dan yang menggunakan sistem pendingin dioperasikan dengan waktu pengukuran parameter yang sama. Parameter yang diukur adalah intensitas cahaya, kecepatan angin, debit air, temperatur lingkungan, temperatur panel surya, temperatur pendingin, tegangan listrik dan arus listrik. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran (P_{out}) tanpa sistem pendingin sebesar 44,439 watt dan daya keluaran (P_{out}) dengan sistem pendingin sebesar 49,181 watt. Efisiensi sel surya tanpa sistem pendingin sebesar 13,541% dan sel surya dengan sistem pendingin sebesar 14,162%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pendingin dapat meningkatkan kinerja sel surya.

Kata kunci: Fotovoltaik, Pendinginan, Posisi Arah Utara, Efisiensi

Abstract

One of the applications of renewable energy that utilizes solar energy is solar panels or photovoltaic systems. The performance of the photovoltaic system is influenced by the amount of sunlight intensity and the surface temperature of the solar panel itself. This research tries to solve the temperature problem by making a cooling system that is strung at the bottom of the solar panel. The research objectives to be achieved are to obtain the maximum output power and efficiency of the photovoltaic system by installing a cooling system. The photovoltaic system is exposed north throughout the day. Photovoltaic systems without the use of cooling systems and those using a cooling system are operated with the same parameter measurement time. The parameters measured are light intensity, wind speed, water discharge, and environmental temperature, solar panel temperature, cooling temperature, electric voltage and electric current. The results of the research show that the output power (P_{out}) without a cooling system of 44.439 watts and an output power (P_{out}) with a cooling system of 49.181 watts. The efficiency of solar cells without a cooling system was 13.541% and a solar cell with a cooling system was 14.162%. This shows that the cooling system can improve the performance of solar cells.

Keywords: Photovoltaic, Cooling, Northward Position, Efficiency



1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka perumusan masalah penelitian ini adalah bahwa penurunan kinerja solar cell dapat terjadi akibat temperatur mencapai suhu body maksimum. Sebagai salah satu upaya untuk mengatasinya adalah digunakan sistem pendingin, agar temperatur sel surya dapat dikendalikan

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka perumusan masalah penelitian ini adalah bahwa penurunan kinerja solar cell dapat terjadi akibat temperatur mencapai suhu body maksimum. Sebagai salah satu upaya untuk mengatasinya adalah digunakan sistem pendingin, agar temperatur sel surya dapat dikendalikan.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan terhadap masalah yang ada agar tidak meluas dan menyimpang dari tujuan, dalam penelitian ini membatasi masalahnya dengan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Jenis sel surya digunakan adalah sel surya polycrystalline 50 Wp (watt peak)
2. Penelitian diruang terbuka dengan memanfaatkan panas matahari.
3. Sel surya diletakkan pada atap miring 30°.
4. Sel surya dihadapkan ke Utara.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui daya luaran dan efisiensi solar cell dengan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin.
2. Untuk mengetahui pengaruh pendingin terhadap daya luaran dan efisiensi pada sistem photovoltaic.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Membuktikan adanya penurunan kinerja sistem fotovoltaiik ketika temperatur naik.
2. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi tentang penelitian sejenis atau lanjutan.
3. Memberi informasi kemampuan pendinginan dalam meningkatkan kinerja solar cell.

2. Metode

2.1 Energi Surya

Kehidupan memerlukan energi dan energi itu diperoleh dari matahari. Energi matahari dipancarkan ke bumi dengan jumlah yang sangat besar. Total energi yang datang ke permukaan bumi adalah 99,98% matahari, 0,02% panas bumi, 0,002% pasang surut gravitasi[7] dan energi matahari jatuh ke permukaan bumi dengan kecepatan 120 petawatt, (1 petawatt = 1015watt)[2]. Laju energi matahari yang mencapai bumi adalah $1,73 \times 10^{17}$ W dan selama satu tahun matahari memberikan energi sebesar $5,46 \times 10^{24}$ J[8].

Energi surya yang dapat diserap oleh bumi hanya sekitar 50% dari total besaran konstanta matahari sebesar 1.353W/m^2 . Energi radiasi matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi hal tersebut dapat berubah seiring dengan revolusi bumi yang mengelilingi matahari. Konstanta matahari tersebut bervariasi antara 1.308W/m^2 sampai 1.398W/m^2 [9].

Potensi energi surya yang cukup besar untuk memanfaatkan potensi energi surya yang ada di Indonesia, adadua jenis teknologi yang telah diterapkan, yaitu:

1. Teknologi fotovoltaiik (PV) adalah teknologi yang memanfaatkan cahaya matahari yang dikonveksikan menjadi energi listrik. Sistem panel surya yang terdiri dari banyak sel, disebut solar cell (sel surya). Sistem ini disebut juga dengan istilah sistem fotovoltaiik (PV)
2. Teknologi konverter termal adalah pemanfaatan termal (panas) matahari yang baik secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan langsung yang sudah sejak lama dimanfaatkan adalah untuk mengeringkan hasil pertanian (perkebunan dan perikanan), sedangkan pemanfaatan pada masa sekarang dapat diterapkan pada sistem thermoelectric generator, yaitu mengubah energi panas menjadi listrik dengan menggunakan peran sistem pendingin aktif.

2.2 Konversi Radiasi Matahari

Untuk memanfaatkan energi matahari melalui langkah-langkah fungsional penangkapan, konversi, dan penyimpanan. Energi matahari tiba di bumi sebagai radiasi yang didistribusikan melewati spektrum warna dari inframerah ke ultraviolet [10].

Untuk memaksimalkan besar intensitas matahari maka perancangan panel surya harus tegak lurus dengan sinar matahari. Sudut kemiringan ditentukan oleh garis lintang lokasi dan sudut azimut yang ditentukan oleh arah datangnya matahari. Dibelahan bumi bagian selatan atau

dibawah garis khatulistiwa, modul fotovoltaik harus menghadap ke utara atau 0° [11].

Samsurizal et al mengatakan sudut kemiringan PV dengan daya keluaran tertinggi yakni, pada sudut 30° , sudut 35° , dan sudut 40° [12]. Sinar matahari yang berasal dari matahari berkurang sekitar 30% sebelum mencapai bumi, disebabkan[13]:

1. Hamburan oleh aerosol, partikel debu, dan lain-lain,
2. Penyerapan oleh gas atmosfer.
3. Hamburan oleh partikel atmosfer.

2.3 Sistem Fotovoltaik

Sistem sel PV terbagi menjadi tiga kategori[10]:

1. Sel anorganik, berbasiskan semikonduktor solid-state.
2. Sel organik, berbasiskan semikonduktor organik.
3. Sel fotoelektrokimia (PEC), berbasiskan semikonduktor dan antar molekul

2.3.1 Sistem Fotovoltaik dan Radiasi Matahari

Sistem PV mengkonversi radiasi matahari rata-rata kurang dari 20% menjadi listrik, sedangkan 80% sisanya diubah menjadi panas[14].

Sebagian besar teknologi PV diadaptasi dari semikonduktor. Semikonduktor merupakan bagian celah energi yang relatif sempit, biasanya sebagian dari elektron. Elektron dapat dieksitasi oleh foton dari pita valensi ke pita konduksi [8]. Sel fotovoltaik umumnya terdiri dari penyerap cahaya yang hanya akan menyerap foton matahari di atas energi foton minimum tertentu [10].

2.3.2 Prinsip Dasar Sistem Fotovoltaik

Kata "photovoltaic" terdiri dari dua kata yaitu "photo" dan "voltaic". Photo yang berarti cahaya dan voltaic yang berarti unit tegangan listrik[1]. Tenaga surya yang dapat diubah langsung menjadi tenaga listrik dalam sel fotovoltaik (PV) biasa disebut sel surya [10].

Sel surya adalah perangkat yang mengubah foton dalam sinar matahari menjadi arus searah (DC) dan tegangan. Sel PV silikon tipikal adalah lembaran tipis yang terdiri dari lapisan sangat tipis silikon yang didoping fosfor (tipe-N) di atas lapisan silikon yang didoping boron (tipe-P) yang lebih tebal. Medan listrik dibuat di dekat permukaan atas sel tempat kedua bahan ini bersentuhan (persimpangan P-N) [13].

2.4 Jenis – jenis Modul Fotovoltaik (PV)

Jenis-jenis modul panel surya yang banyak diketahui, ialah:

1. Monokristal (Mono-Crystalline)
Modul monokristal merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling

tinggi. Monokristal memiliki efisiensi hingga 15%. Kelemahan dari panel ini adalah tidak akan berfungsi apabila ditempat yang mataharinya kurang (teduh) [15].

2. Polikristal (Poly-Crystalline)

Modul polikristal merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena fabrikasi dengan proses pengecoran. Panel ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan tipe monokristal [15]

2.5. Sistem Kerja PV

Sel surya ini berisi persimpangan P-N. Sampai batas tertentu, elektron dan lubang berdifusi melintasi batas persimpangan ini membentuk medan listrik di atasnya. Elektron bebas dihasilkan dilapisan N oleh aksi foton, ketika foton sinar matahari menabrak permukaan sel surya dan diserap oleh semikonduktor, beberapa di antaranya menciptakan pasangan elektron dan lubang. Jika dua sisi sel surya terhubung, arus listrik akan mengalir selama sinar matahari menepa sel [16].

Ketika energi matahari (foton) mengenai sel surya, elektron terlempar lepas dari atom bahan semikonduktor, menciptakan pasangan lubang elektron. Selama kegelapan, sel surya tidak aktif dan bekerja sebagai dioda, yaitu sambungan P-N yang tidak menghasilkan arus atau tegangan apapun. Namun, jika terhubung ke daya eksternal bertegangan besar, ia menghasilkan arus yang disebut dioda atau arus gelap. Sel surya biasanya diwakili oleh model satu dioda ekuivalen listrik [16].

2.6 Kinerja Sel Surya (PV)

Kinerja panel surya dapat diketahui dengan dilakukan pengukuran secara indoor ataupun outdoor, dengan kondisi pengujian sesuai dengan Standard Test Conditions (STC). Kondisi standar dalam STC meliputi: radiasi cahaya matahari= 1000 W/m^2 dan temperatur permukaan= 25°C [17].

Semua parameter tersebut dapat dipengaruhi kondisi sekitar. Faktor-faktor ini yang mempengaruhi kinerja sel PV, utamanya adalah:

1. Temperatur

Selama pengoperasian panel surya, hanya sekitar 15% dari radiasi matahari dikonversikan menjadi listrik dan sisanya diubah menjadi panas, sehingga efisiensi panel surya akan menurun apabila temperatur panel meningkat[18]. Sel surya dapat bekerja optimal pada saat temperatur konstan 25°C . Jika temperatur pada sel surya melebihi 25°C akan menurunkan tegangan open circuit (Voc) [19]. Setiap sel surya mengalami kenaikan 1°C dari 25°C akan mengurangi total tenaga yang dihasilkan sekitar 0,5% [5]. Besarnya daya yang berkurang dapat dihitung dengan persamaan [20]:

$$P_{\text{(saat selisih } t^\circ\text{c)}} = [(0,5\%^\circ\text{C}) \times P_{\text{MPP}} \times t^\circ\text{C}] \quad (1)$$

Pada saat temperatur naik menjadi $t^\circ\text{c}$ maka daya keluaran maksimum panel dapat dihitung dengan persamaan[20]:

$$P_{(MPP\text{saatselisih}t^{\circ}c)} = P_{MPP} - P_{(saatselisih}t^{\circ}c) \quad (2)$$

2. Sudut kemiringan panel surya

Untuk mendapatkan energi matahari yang maksimal maka panel surya harus mempunyai sudut kemiringan pada suatu lokasi [20].

2.6.1 Arus dan Tegangan PV

Pada sistem fotovoltaik besarnya arus dan tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor.

1. Arus hubung singkat (I_{sc})

Arus hubung singkat I_{sc} sesuai dengan kondisi ketika impedansi beban yang dikendarai sel surya diabaikan. Ini adalah arus yang mengalir ketika tegangan sama dengan nol ($I_{sc}=0$) [4].

2. Tegangan siskuit terbuka (V_{oc})

Tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) adalah tegangan yang melintasi perangkat ketika tidak ada arus yang melewati sel ($V_{oc}=0$) [4].

2.6.2 Daya PV

Daya pada sistem fotovoltaik terdiri dari:

1. Daya maksimum

Daya maksimum (P_m) diperoleh dari perkalian antara arus dan tegangan. Daya maksimum dari sel surya dapat dihitung dengan persamaan [4]:

$$P_m = V_m \times I_m \quad (3)$$

2. Daya masuk

Daya masuk (P_{in}) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima oleh luas area sel surya menggunakan persamaan [4].

$$P_{in} = I_r \times A \quad (4)$$

3. Daya luaran

Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya menggunakan persamaan [4].

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \quad (5)$$

2.6.3 Faktor Pengisi (FF)

Fill faktor (FF) adalah ukuran kualitas sel surya. Pada perangkat aktual ini nilai faktor pengisian, $FF > 0,7$ maka sel surya dapat diterima [4].

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (6)$$

2.6.4 Efisiensi PV

Efisiensi tenaga surya ke listrik, η adalah perbandingan daya listrik luaran P_{out} , terhadap tenaga surya P_{in} dalam sel PV. Besarannya dapat dihitung dengan persamaan [4].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (7)$$

2.7 Sistem Pendingin

Sistem pendingin adalah suatu rangkaian sistem untuk menjaga temperatur supaya tetap stabil [21]. Sistem pendingin mempunyai berbagai bentuk mulai dari hembusan udara, media perpindahan (heatsink), dan aliran air [22]. Pendinginan yang efektif diperlukan untuk menghilangkan panas beban di permukaan sel surya dan menjaga kinerja sel surya. Pendinginan pasif dan aktif adalah dua kemungkinan metode untuk menghilangkan panas dari sel fotovoltaik iluminasi tinggi [23].

Sistem pendingin aktif yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari rangkaian heatsink dengan dimensi 40cm x

12 cm x 3,4 cm yang dimana sisi atas dan bawahnya ditutup aluminium dengan tebal 3mm dan diberikan jalur in dan out

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 1.



Gambar 1 Alat Penelitian

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Alat - alat

Tabel 1Alat-alat Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Multimeter	Berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan arus listrik.
2	Thermometer	Berfungsi untuk mengukur temperatur
3	Solar power meter	Berfungsi untuk mengukur intensitas matahari
4	Power supply	Dual volt amper meter digital yang dapat di gunakan untuk mengukur arus (amper) dan tegangan (volt)
5	Anemometer	Berfungsi untuk mengukur kecepatan angin yang melewati alat uji.

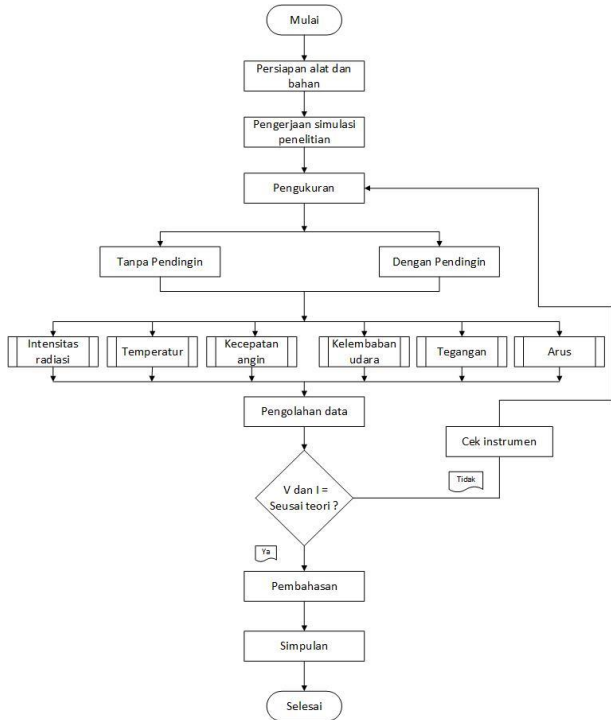
3.3.2 Bahan

1. Air

2. Es batu

3.4 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3 Diagram alir 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 [4]. Metode pengumpulan dan pengolahan data dilakukandengan 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/m²), kelembapan 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.

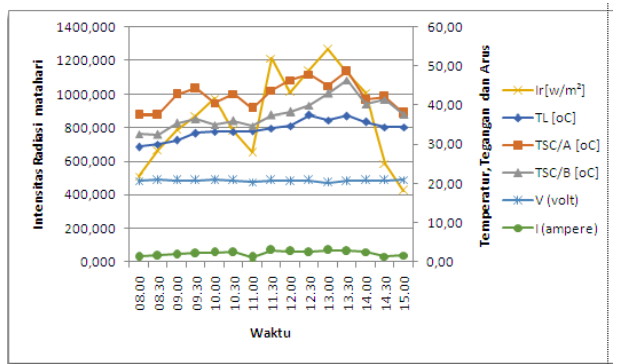
4.2 Pembahasan

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

Pukul	T _l [°C]	T _{sc/a} [°C]	T _{sc/b} [°C]	I _r [w/m ²]	v [m/s]	A (m ²)	P _{in} (watt)	V (volt)	I (ampere)	P _{out} (watt)
08.00	29,400	37,600	32,700	510,000	0,800	0,378	192,780	20,700	1,300	26,910
08.30	30,000	37,600	32,500	668,000	0,800	0,378	252,504	20,900	1,610	33,649
09.00	31,100	42,700	35,500	786,000	1,100	0,378	297,108	20,800	1,870	38,896
09.30	32,900	44,300	36,500	871,000	1,000	0,378	329,238	20,800	2,190	45,552
10.00	33,300	40,600	35,000	974,000	0,700	0,378	368,172	20,900	2,310	48,279
10.30	33,300	42,900	36,000	780,000	1,500	0,378	294,840	20,800	2,460	51,168
11.00	33,400	39,200	34,700	651,000	1,000	0,378	246,078	20,400	1,200	24,480
11.30	34,100	43,800	37,500	1213,000	1,900	0,378	458,514	20,800	2,960	61,568
12.00	34,700	46,400	38,300	1011,000	2,300	0,378	382,158	20,600	2,630	54,178
12.30	37,600	47,900	40,000	1145,000	3,000	0,378	432,810	20,800	2,460	51,168
13.00	36,200	45,000	43,100	1266,000	3,000	0,378	478,548	20,200	2,980	60,196
13.30	37,300	48,700	46,400	1128,000	4,600	0,378	426,384	20,600	2,740	56,444
14.00	35,800	41,400	40,300	1009,000	4,300	0,378	381,402	20,800	2,510	52,208
14.30	34,400	42,100	41,500	586,000	1,800	0,378	221,508	20,800	1,320	27,456
15.00	34,400	38,000	37,700	425,000	5,500	0,378	160,650	21,000	1,640	34,440
Maximum	37,600	48,700	46,400	1266,000	5,500	0,378	478,548	21,000	2,980	61,568
Minimum	29,400	37,600	32,500	425,000	0,700	0,378	160,650	20,200	1,200	24,480

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 4 dibawah ini.



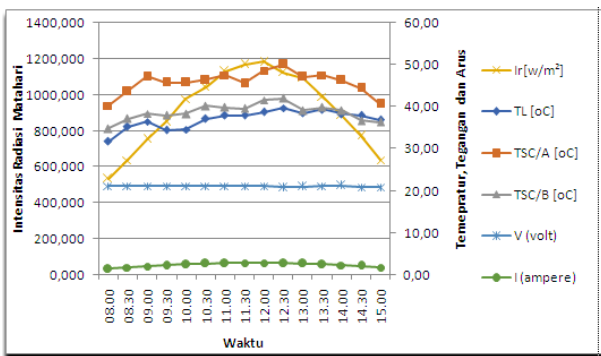
Gambar 4 Distribusi radiasi, temperatur, tegangan dan arus tanpa pendingin

Temperatur permukaan sel surya sangat mempengaruhi kinerja sel surya. Asrori mengatakan, bahwa kinerja sebuah panel surya dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya temperatur panel dan cuaca lingkungan [17]

Tabel 3 Perhitungan Daya Luaran dengan Pendingin

Pukul	T ₁ [°C]	T _{SC/A} [°C]	T _{SC/B} [°C]	I _r [w/m ²]	v [m/s]	A		V		Pout	
						(m ²)	(watt)	(volt)	(ampere)	(watt)	(watt)
08.00	31,700	40,300	34,800	535,000	0,000	0,378	202,230	21,100	1,410	29,751	
08.30	35,200	43,700	37,100	638,000	1,000	0,378	241,164	21,100	1,730	36,503	
09.00	36,500	47,200	38,400	754,000	1,100	0,378	285,012	21,100	2,030	42,833	
09.30	34,500	45,700	38,000	850,000	2,800	0,378	321,300	21,100	2,240	47,264	
10.00	34,600	45,700	38,300	978,000	3,800	0,378	369,684	21,100	2,510	52,961	
10.30	37,200	46,400	40,200	1043,000	6,300	0,378	394,254	21,100	2,670	56,337	
11.00	38,000	47,500	39,800	1130,000	2,400	0,378	427,140	21,100	2,760	58,236	
11.30	37,900	45,600	39,600	1167,000	6,400	0,378	441,126	21,100	2,830	59,713	
12.00	38,800	48,600	41,600	1183,000	4,400	0,378	447,174	21,100	2,820	59,502	
12.30	39,700	50,100	42,000	1123,000	5,600	0,378	424,494	20,800	2,760	57,408	
13.00	38,500	47,100	39,100	1092,000	2,700	0,378	412,776	21,000	2,660	55,860	
13.30	39,400	47,500	39,800	990,000	3,000	0,378	374,220	21,100	2,490	52,539	
14.00	38,300	46,300	39,100	886,000	2,700	0,378	334,908	21,200	2,280	48,336	
14.30	38,000	44,400	36,700	773,000	3,400	0,378	292,194	20,900	2,090	43,681	
15.00	36,900	40,600	36,400	638,000	5,600	0,378	241,164	20,900	1,760	36,784	
Maximum	39,700	50,100	42,000	1183,000	6,400	0,378	447,174	21,200	2,830	59,713	
Minimum	31,700	40,300	34,800	535,000	0,000	0,378	202,230	20,800	1,410	29,751	

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 5 dibawah ini.



Gambar 5 Distribusi radiasi, temperatur, tegangan dan arus dengan sistem pendingin

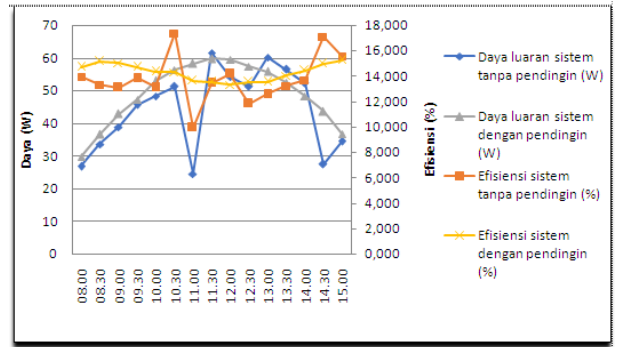
Tegangan dan Arus pada panel surya terlihat stabil. Adhriyono mengatakan peningkatan temperatur dapat berpengaruh pada daya luaran panel surya [5]. Adanya sistem pendingin dapat menjaga temperatur pada panel surya sehingga daya luaran yang dihasilkan lebih besar

4.2.1 Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Kinerja Sel Surya

Tabel 4 Perhitungan efisiensi dengan sistem pendingin dan tanpa pendingin

Pukul	Tanpa pendingin					Sistem Pendingin				
	I _r [w/m ²]	V (volt)	I (ampere)	Pout (watt)	η (%)	I _r [w/m ²]	V (volt)	I (ampere)	Pout (watt)	η (%)
08.00	510,000	20,700	1,300	26,910	13,959	535,000	21,100	1,410	29,751	14,711
08.30	668,000	20,900	1,610	33,649	13,326	638,000	21,100	1,730	36,503	15,136
09.00	786,000	20,800	1,870	38,896	13,092	754,000	21,100	2,030	42,833	15,028
09.30	871,000	20,800	2,190	45,552	13,836	850,000	21,100	2,240	47,264	14,710
10.00	974,000	20,900	2,310	48,279	13,113	978,000	21,100	2,510	52,961	14,326
10.30	780,000	20,800	2,460	51,168	17,354	1043,000	21,100	2,670	56,337	14,290
11.00	651,000	20,400	1,200	24,480	9,948	1130,000	21,100	2,760	58,236	13,634
11.30	1213,000	20,800	2,960	61,568	13,428	1167,000	21,100	2,830	59,713	13,536
12.00	1011,000	20,600	2,630	54,178	14,177	1183,000	21,100	2,820	59,502	13,306
12.30	1145,000	20,800	2,460	51,168	11,822	1123,000	20,800	2,760	57,408	13,524
13.00	1266,000	20,200	2,980	60,196	12,579	1092,000	21,000	2,660	55,860	13,533
13.30	1128,000	20,600	2,740	56,444	13,238	990,000	21,100	2,490	52,539	14,040
14.00	1009,000	20,800	2,510	52,208	13,688	886,000	21,200	2,280	48,336	14,433
14.30	586,000	20,800	1,320	27,456	17,091	773,000	20,900	2,090	43,681	14,949
15.00	425,000	21,000	1,640	34,440	15,548	638,000	20,900	1,760	36,784	15,253
Maximum	1266,000	21,000	2,980	61,568	17,354	1183,000	21,200	2,830	59,713	15,253
Minimum	425,000	20,200	1,200	24,480	9,948	535,000	20,800	1,410	29,751	13,306

Uraian data yang telah diolah menjadi efisiensi solar cell (%) yaitu diperoleh dari persamaan (7). Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Grafik daya luaran dan efisiensi dari ke dua sistem

Daya luaran tanpa pendingin mengalami turun naik sedangkan daya luaran sistem pendingin mengalami kenaikan dari pagi sampai siang hari dan mengalami penurunan saat sore hari. Efisiensi dan daya luaran tanpa pendingin mengalami turun naik sedangkan efisiensi dan daya luaran sistem pendingin cenderung stabil. Sunarno mengatakan bahwa sistem pendingin sangat penting untuk menjaga kinerja panel surya [24]. Akibat pengukuran manual yang tidak real time dimana yang tercatat dalam pengukuran masukan proses berlangsung terus menerus sehingga tidak akurasi. Kenaikan daya masukan tidak sama dengan kenaikan daya luaran sehingga saat terjadi perubahan yang signifikan dari intensitas radiasi matahari, respon yang tercatat pada daya luaran kurang tepat.

5 SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Daya luaran tanpa sistem pendingin adalah 44,439watt dan dengan sistem pendingin sebesar 49,181watt, sementara itu efisiensi solar cell tanpa sistem pendingin sebesar 13,541% dan dengan sistem pendingin adalah 14,162%.
2. Penggunaan sistem pendingin berpengaruh terhadap kinerja solar cell, berupa peningkatan daya luaran dan efisiensi jika dibandingkan tanpa sistem pendingin.
- 3.

KEPUSTAKAAN

- [1] Y. S. Rifky, Gaos, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2019.
- [2] Y. Chu, "Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies, Global Energy Network Institute (GENI), 2011," no. August, p. 22, 2011.
- [3] U. Wibawa and A. Darmawan, "Penerapan Sistem Photovoltaik Sebagai Suplai Daya Listrik Beban Pertamanan," *J. EECCIS*, vol. 2, no. 1, pp. 26–37, 2008.
- [4] R. Pido, S. Himran, and Mahmuddin, "Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi," *Teknologi*, vol. 19, no. 1, pp. 31–38, 2018.
- [5] E. Adhi Adhriyono, warsito, M. Y. Nugroho, O. Oding, and B. Winardi, "Dipo Pv Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*,

- vol. 2, no. 3, pp. 499–503, 2013.
- [6] H. Isyanto, Budiyanto, Fadliandi, and P. G. Chamdareno, “Pendingin untuk peningkatan daya keluaran panel surya,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol.* 2017, no. November, pp. 1–2, 2017.
- [7] P. Taylor and M. M. Kostic, “Energy : Global and Historical Background Energy : Global and Historical Background,” *Encycl. Energy Eng.*, no. July 2015, pp. 1–15, 2008.
- [8] C. J. Chen, *Physics of Solar Energy*. 2011.
- [9] A. E. Putra, R. Rifky, and A. Fikri, “Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan,” *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 3, no. 2502, p. 38, 2019.
- [10] E. N. S. Lewis, “Basic Research Needs for Solar Energy Utilization,” 2005.
- [11] B. Ramadhani, “Dos & Don ’ ts,” p. 277, 2018.
- [12] S. Samsurizal, A. Makkulau, and C. Christiono, “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, 2019.
- [13] P. Jayakumar, “Solar Energy Resource Assesment Handbook,” *System*, no. September, pp. 1–117, 2009.
- [14] A. Del Amo, A. Martínez-Gracia, A. A. Bayod-Rújula, and J. Antoñanzas, “An innovative urban energy system constituted by a photovoltaic/thermal hybrid solar installation: Design, simulation and monitoring,” *Appl. Energy*, vol. 186, pp. 140–151, 2017.
- [15] B. H. Purwoto, “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif,” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 01, pp. 10–14, 2018.
- [16] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering Processes and Systems Second Edition Soteris*. 2018.
- [17] Asrori, Imam Mashudi and Suyanta, “Pengujian Rasio Kinerja Instalasi Panel Surya Tipe Silikon–Kristal pada Kondisi Cuaca Kota Malang,” *J. Energi Dan Teknol. Manufaktur*, vol. 2, No.2, no. p-ISSN: 2620-8741, pp. 11–18, 2019.
- [18] T. A. Rizal, M. Amin, and P. H. Saputra, “Kaji Eksperimental Pendinginan Panel Surya Menggunakan Media Udara,” *Jurutera*, vol. 01, no. 01, pp. 027–030, 2014.
- [19] H. A. S and M. Bastomi, “Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Panel Terhadap Daya Dan Efisiensi Keluaran Sel Surya Poycrystalline,” *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, p. 33, 2019.
- [20] R. Alfanzi, F. M. K., and H. Haryanto, “Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida (PLTS- PLTB- PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal,” *Setrum*, vol. 4, no. 2, pp. 34–42, 2015.
- [21] ono wihara and m Agus, “Analisis Sistem Pendingin engine,” pp. 1–7.
- [22] M. S. Loegimin, B. Sumantri, M. A. B. Nugroho, H. Hasnira, and N. A. Windarko, “Sistem Pendinginan Air Untuk Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic,” *J. Integr.*, vol. 12, no. 1, pp. 21–30, 2020.
- [23] A. Aldossary, S. Mahmoud, and R. Al-Dadah, “Technical feasibility study of passive and active cooling for concentrator PV in harsh environment,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 100, no. February, pp. 490–500, 2016.
- [24] S. A.R, “Sistem Pendingin Pasif untuk Meningkatkan Daya Keluaran Panel Sel Surya,” 2019.