Rancang Bangun Sistem Pendingin Pada Photovoltaic Dengan Monitoring Berbasis IOT

Ferdi Arisandi[1], Sunardi[2]
[1,2] Universitas Pamulang
Email: ferdiarisandi16@gmail.com, dosen00856@unpam.ac.id

Article History:
Received: 26 September 2024
Revised: 18 Oktober 2024
Accepted: 21 Oktober 2024

Keywords: *solar energy, photovoltaic, cooling system, IoT technology, power efficiency, temperature sensor.*

Abstract: *Solar energy, as a renewable energy source, holds significant potential in Indonesia due to its equatorial location, which ensures sunlight throughout the year. However, high temperatures and excessive solar radiation can reduce the efficiency of photovoltaic (PV) modules. The purpose of this study is to design an effective cooling system to improve the efficiency of PV and to develop an IoT-based monitoring system to monitor the system's performance in real-time. This cooling method utilizes a water spray nozzle and DS1820 sensors to monitor both the panel surface temperature and the water temperature. Test results show that PV systems with the cooling system produce an average output voltage of 15.15 V, a current of 2.61 A, and a power of 39.54 W, with a power efficiency of 17.17%. In contrast, PV systems without cooling only produce an average output voltage of 13.52 V, a current of 1.6 A, and a power of 21.63 W, with a power efficiency of 9.38%. The implementation of the cooling system improves power efficiency by 82.89%. The difference in power output between the PV with the cooling system and without the cooling system is 17.91 W.*

PENDAHULUAN

Energi matahari dapat di ubah menjadi energi listrik, adalah salah satu energi terbarukan yang terus berkembang(Moharram et al., 2013), Indonesia memiliki potensi energi yang cukup baik karena letak geografisnya berada pada garis khatulistiwa , yang membuatnya menerima sinar matahari sepanjang tahun. Menurut Dewan Energi Nasional potensi energi matahari di indonesia mencapai 4,8KWh/m^2/hari yang setara dengan 112000 GWp(Anggara & Saputra, 2023). Radiasi matahari yang berlebihan dan suhu tinggi di lingkungan merupakan hambatan utama untuk pengoperasian modul *photovoltaik* ((PV). Temperatur permukaan photovoltaik memainkan peran penting dalam proses konversi, efisiensi elektrik, dan *output* daya. Akibatnya, efisiensi elektrik modul photovoltaik akan terus menurun seiring peningkatan temperatur permukaan *photovoltaik.*(Rahayu & Rijanto, 2019)

Panel surya yang terus berkerja secara terus menerus, jika suhu panel terlalu tinggi, fungsinya akan menurun. Intensitas cahaya yang jatuh ke permukaan panel surya menentukan

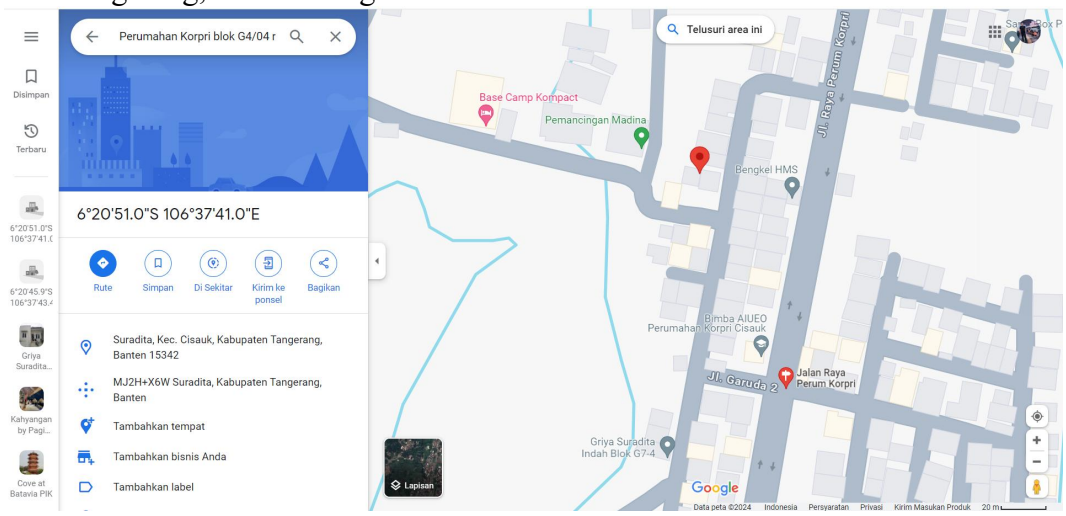
tegangan dan arus yang dihasilkannya(Rahajoeningroem & Jatnika, 2022). Dengan demikian, penelitian ada beberapa referensi penelitian sebelumnya yang masih relevan dengan sistem yang akan dibuat, seperti penelitian tentang desain sistem pendingin panel surya, desain alat ukur panel surya, penggunaan sensor suhu, dan hasil monitoring hasil panel surya. Dengan pendinginan mengalirkan air dibawah permukaan sel surya dapat menghasilkan daya 36,51 W dengan efisiensi 8,11 %, sementara tanpa pendinginan dapat menghasilkan daya 34,0 W dengan efisiensi 7,57 %. (Pido et al., 2018)

Tujuan dan pembeda dari penelitian ini adalah untuk membuat alat pendingin otomatis menggunakan air yg didinginkan dan dialirkan ke panel surya dengan tujuan meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk membuat alat yang dapat mengukur keluaran panel surya dan data yang dihasilkan dari panel surya dengan menggunakan IoT untuk mempermudah proses penganalisaan, dan hasilnya dapat dilihat pada aplikasi mobile atau website yang terhubung dengan internet.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian beralamat di Perumahan Korpri blok G4/04 rt.09/rw.09 Suradita, Kec. Cisauk, Kab. Tangerang, Banten dengan titik altitute 6°20'51.0"S 106°37'41.0"E



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian terdapat beberapa metode yang dilakukan agar proposal Tugas Akhir ini bisa segera diselesaikan, antara lain:

1. Studi Pustaka.

   Metode yang dilakukan dalam pengumpulan data dari tinjauan pustaka ke perpustakaan, internet dan sumber informasi yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.
2. Observasi.

   Merupakan penelitian dalam rangka pengumpulan data yang berkaitan dengan masalah penelitian melalui proses pengamatan langsung dilapangan.
3. Analisa sistem

Dilakukan dengan meneliti sistem yang sudah ada yang tujuanya untuk merancang sebuah sistem yang baru.

4. Desain dan Perancangan

   Desain dan perancangan alat ini memiliki 2 tahapan diantaranya perancangan program software dan perancangan alat hardware.

   a. Perancangan *Software*

      Perancangan program ini menggunakan software Arduino IDE yang kemudian program tersebut di upload pada board NodeMCU ESP32 dan memonitoring hasil di Aplikasi Blynk

   b. Perancangan *Hardware*

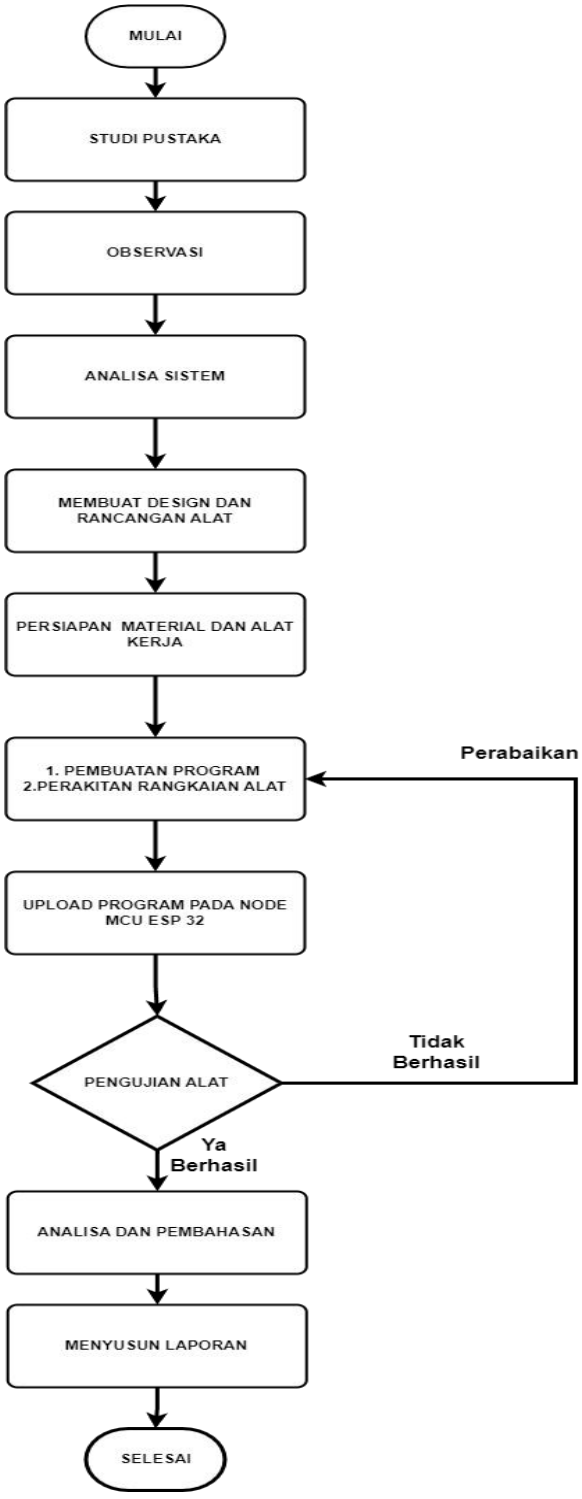
      Perancangan alat ini menghubungkan semua komponen, dimulai dari Rangka, Modul Pendingin Peltier, Pompa air, INA 219,Sensor BH17150 Sensor DHT22, Relay, dan NodeMCU ESP32.

5. Pengujian Sistem

   Dilakukan untuk memastikan apakah alat yang dibuat dapat bekerja dengan sesuai keinginan penulis.

6. Analisa dan Pembuatan Laporan

   Setelah hasil perancangan *software* dan hardware maka penulis melakukan analisa dari penelitian yang telah dilakukan kemudian membuat laporan Tugas Akhir



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Alat dan Bahan

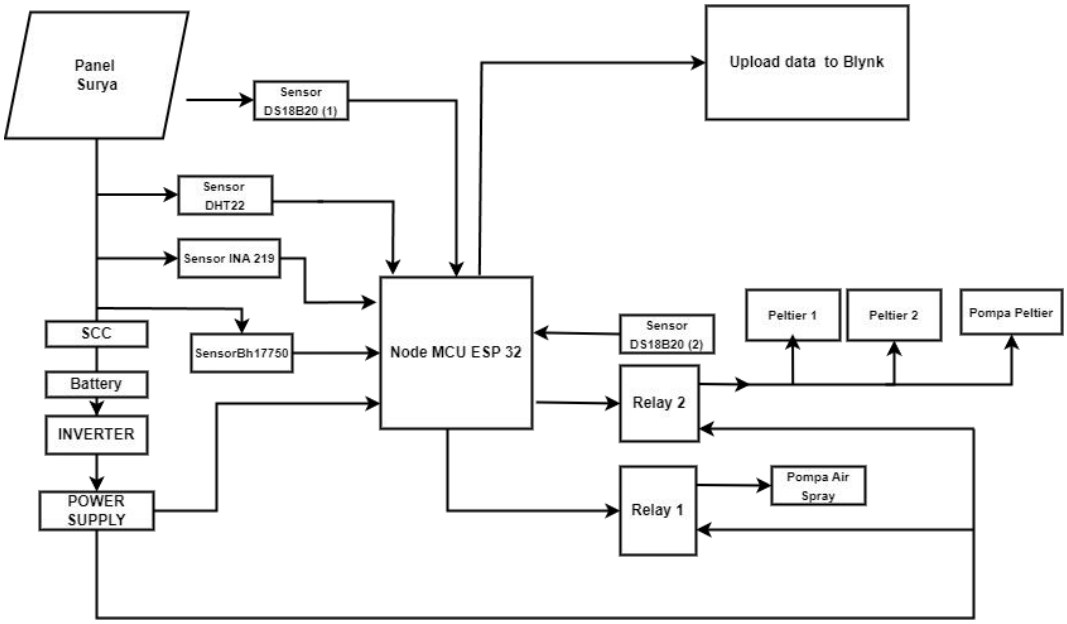
Berikut beberapa Komponen atau Material dan peralatan yang diperlukan dalam melakukan penelitian.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Material	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	Power Supply	Inp. Voltage AC 220V Out. Voltage DC 12V-10A	1	Unit
2	Brand Mikrokontroler	Node MCU ESP32	1	Unit
3	Relay	5V DC	3	Unit
4	Pompa Air Celup	5V DC	1	Unit
5	Module DC converter Step Down	Inp voltage DC 4V-38V Out. Voltage DC1.25V-36V	1	Unit
6	Kabel Jumper	Male–Male dan Female-Female	40	Pcs
7	Peltier Cooling Kit	12V DC	2	Unit
8	Selang Pompa Celup	½ Inch	1	Meter
9	Sensor Temp.Air dan Sensor Temp. Panel Surya	DS18B20	2	Unit
10	Sensor Temperature dan Kelembapan	DHT22	1	Unit
11	Pompa Air Spray	12V DC	1	Unit

12	Misty Nozzle Spray	-	1	Paket
13	Sensor Tegangan ,Arus,Daya	INA129	1	Unit
14	Box air	13 liter	1	Unit
15	Kabel Pelangi		4	Meter
16	Akrilik	120 cm x 60 cm	2	Pcs
17	Sensor BH1750	BH1750	1	Pcs

Diagram blok perancangan alat



Gambar 3. Diagram blok perancangan Alat

Prinsip kerja dari fungsi blok diagram diatas adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya, berfungsi mengubah ebergi matahari menjadi energi listrik DC
2. SCC,berfungsi mengatur aliran listrik dari panel surya ke baterai untuk mengisi baterai dengan aman dan efisien
3. *Battery,*berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat dibutuhkan.
4. Inverter, berfungsi mengubah sumber listrik DC dari baterai menjadi sumber listrik AC .
5. *Power Supply* berfungsi sebagai sumber tegangan berasal dari output

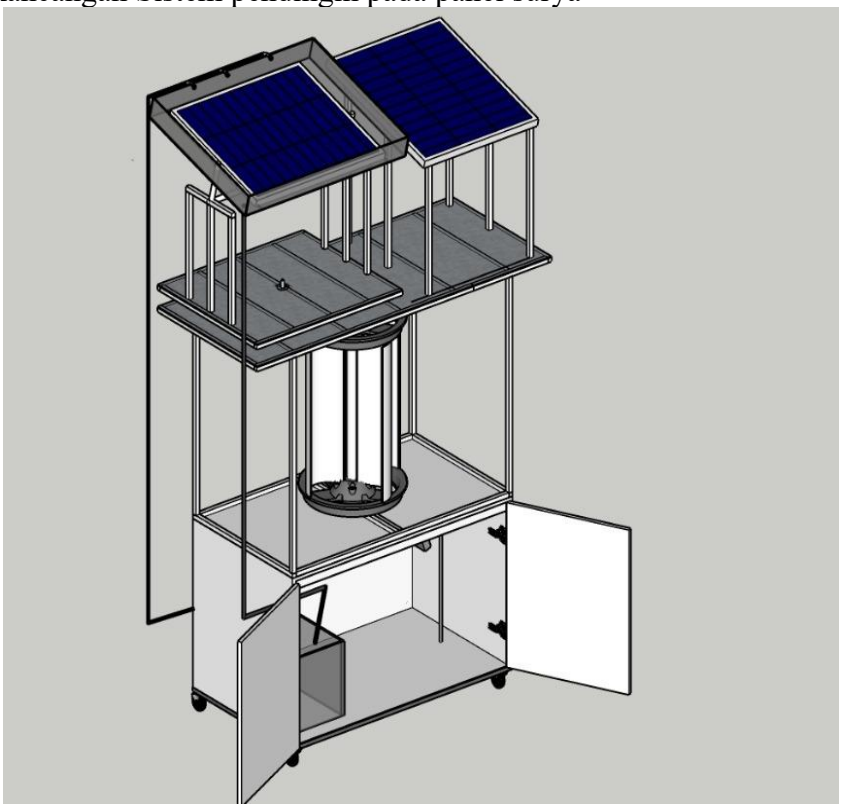
panel surya menjalankan sistem kontrol pada alat .

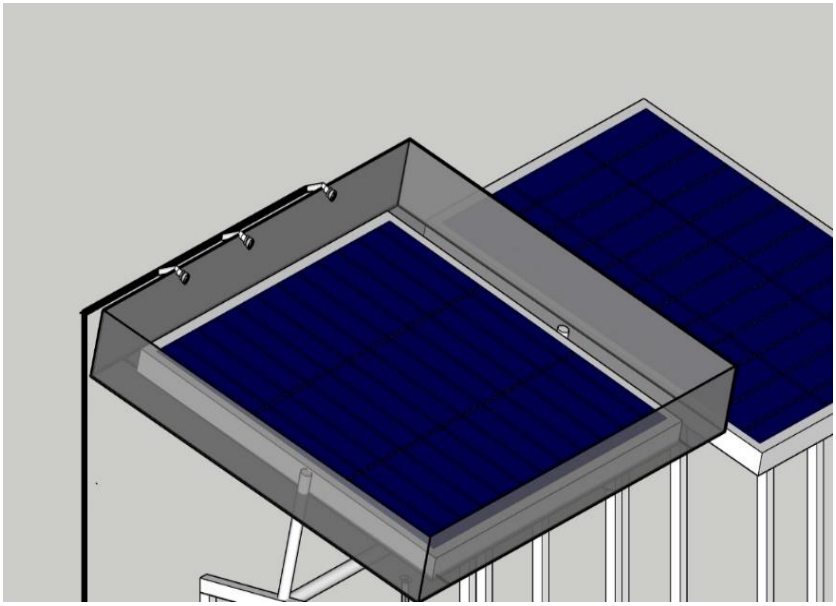
6. Blok Node MCU ESP32 berfungsi sebagai kontrol sistem yang mengendalikan semua sinyal input dari sensor maupun memberikan sinyal output ke relay, sensor serta mengirimkan monitoring data ke aplikasi Blynk.
7. Blok sensor DS1820 (1) berfungsi sebagai pembaca suhu pada permukaan panel surya
8. Blok sensor DHT22 berfungsi sebagai pembaca kelembaban dan suhu di area panel surya.
9. Blok sensor INA 219 berfungsi sebagai pembaca arus dan tegangan Output dari panel surya
10. Blok sensor DS1820 (2) berfungsi sebagai pembaca suhu pada air yang ada di box penampungan.
11. Blok sensor BH1750 berfungsi untuk memabaca nilai intensitas cahaya di area panel surya.
12. Relay (1) berfungsi menyalakan pompa air spray ke panel surya
13. Relay (2) berfungsi menyalakan modul peltier , menyalakan pompa air yang ada di dalam wadah penampungan air untuk sirkulasi

Desain Perancangan Alat

Perancangan untuk Desain Sistem Pendingin Panel Surya dibagi menjadi 2 rancangan yaitu sebagai berikut:

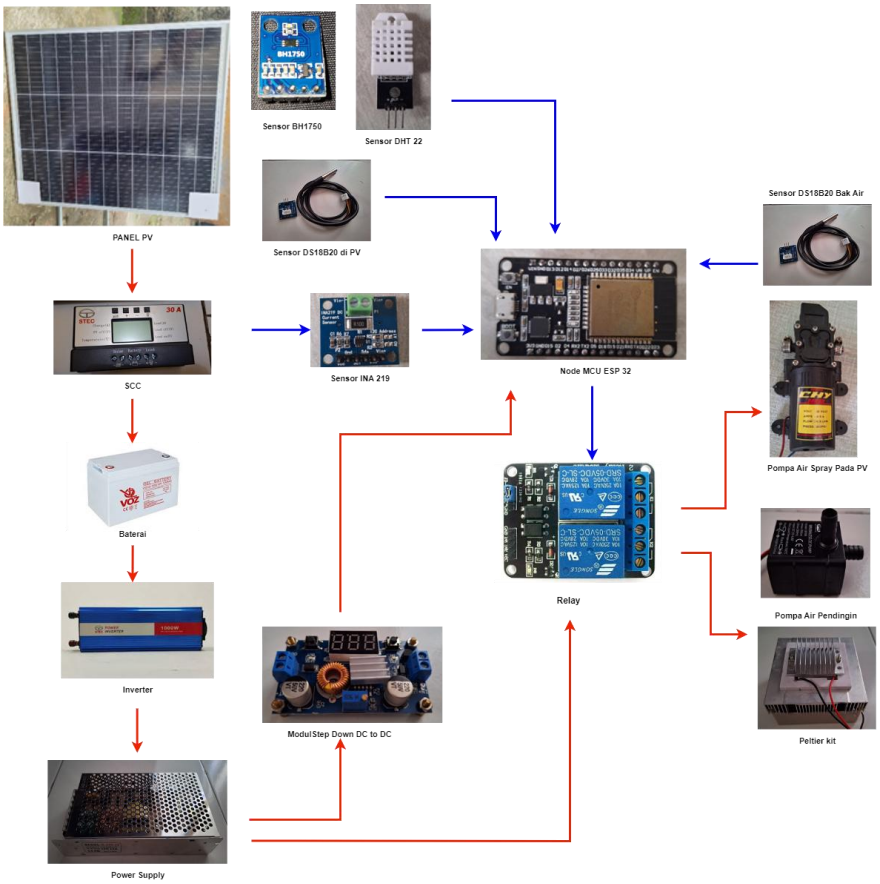
1. Desain Rancangan Sistem pendingin pada panel surya





Gambar 4. Desain Rancangan Sistem pendingin pada panel surya

2. Perancangan sistem kerja dari sistem pendingin pada panel surya



Gambar 5. Perancangan Sistem kerja pendingin pada panel surya

Estimasi Biaya

Dalam pengerjaan penelitian ini dibutuhkan biaya untuk pengadaan beberapa komponen alat yang digunakan . Biaya tersebut sudah termasuk dengan estimasi harga dari yang didapat melalui studi online market , berikut ini merupakan data perinciannya :

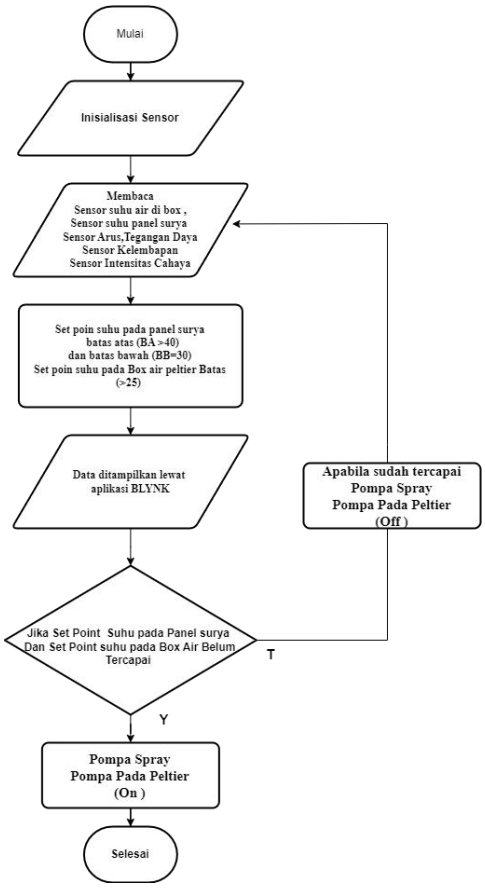
Tabel 2. Estimasi Biaya

No	Material	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Harga
1	*Power Supply*	Inp. Voltage AC 220V Out. Voltage DC 12V-10A	1	Unit	Rp.60.000
2	*Brand Mikrokontroler*	Node MCU ESP32	1	Unit	Rp.77.000
3	Relay	5V DC	3	Unit	Rp.20.000
4	Pompa Air Celup	5V DC	1	Unit	Rp.9.000
5	*Module DC converter Step Down*	Inp voltage DC 4V-38V Out. Voltage DC1.25V-36V	1	Unit	Rp.36.000
6	Kabel Jumper	Male–Male dan Female-Female	40	Pcs	Rp.18.000
7	*Peltier Cooling Kit*	12V DC	2	Unit	Rp.280.000
8	Selang Pompa Celup	½ Inch	1	Meter	Rp.4000
9	Sensor Temp.Air dan Sensor Temp. Panel Surya	DS18B20	2	Unit	Rp.86.000
10	Sensor *Temperature* dan Kelembapan	DHT22	1	Unit	Rp.23.000
11	Pompa Air Spray	12V DC	1	Unit	Rp.130.000
12	*Misty Nozzle Spray*	-	1	Paket	Rp.45.000
13	Sensor	INA129	1	Unit	Rp.26.000

	Tegangan ,Arus,Daya				
14	Box air	13 liter	1	Unit	Rp.66.000
15	Kabel Pelangi		4	Meter	Rp.64.000
16	Akrilik	120 cm x 60 cm	2	Pcs	Rp. 300.000
17	Sensor BH1750	BH1750	1	Pcs	Rp.13.300
Total Biaya					Rp.1.326.300

Flowchart Penelitian

Agar sistem yang akan dibuat dapat memenuhi tujuan utama dari perancangan, maka sistem dibuatkan dalam bentuk diagram alir dari sistem kerja mesin yang akan dibuat.Berikut diagram alir sistem kerja alat



Gambar 6. Flowchart Sistem kerja pendingin pada panel surya berbasis monitoring IoT

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perakitan Alat Sistem Pendingin Panel Surya

Perakitan alat sistem pendingin menggunakan nozzle water spray yang diletakan pada panel surya yang mengalirkan air dari bak air oleh pompa air spray. Dan air yang di dinginkan akan di sirkulasi menggunakan pompa air celup melewati water block dan peltier. Penelitian ini bertujuan unuk mengetahui pengaruh sistem pendingin pada PV terhadap output tegangan, arus,daya .



Gambar 4. 1 PV dengan sistem pendingin

4.1 Perakitan panel surya non- sistem pendingin

Perkitan panel surya *non* sistem pendingin yaitu tanpa diberikan water spray dalam mendinginkannya jadi digunakan sebagai pembanding hasil dengan yang ada sistem pendinginnya.



Gambar 4. 2 PV dengan non sistem pendingin

4.2 Pengujian Komponen – komponen

Pengujian dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa komponen tersebut dapat bekerja dengan baik.

4.2.1 Pengujian Sensor Tegangan dan Arus (INA219)

Pengujian sensor tegangan dan arus dilakukan dengan cara membandingkan pengukuran dengan alat ukur multimeter digital dan menggunakan sensor INA219.

Tabel 4. 1 pengujian tegangan sensor INA219

Waktu	Nilai	Nilai	Selisih	Akurasi

Pengujian	Tegangan Sensor (V)	Tegangan Multimeter(V)	(%)	(%)
11.00	15,74	16,29	3.38%	96.62%
12.00	15,66	16,21	3,39%	96.61%
13.00	15,66	16,21	3,39%	96,.61%
Rata-rata			3,38%	96,61%

Pada tabel 4.1 pengujian INA 219 pada pukul 11.00 tegangan panel surya terbaca oleh sensor sebesar 15.74 V, sedangkan pada multimeter terbaca sebesar 16.29 V maka nilai selisih nya sebesar 3.38% dengan nilai ketepatan pada modul sensor INA 219 sebesar 96.62%. Pukul 12.00 tegangan panel surya terbaca oleh sensor sebesar 15.66 V, sedangkan pada multimeter terbaca sebesar 16.21 V maka nilai selisih nya sebesar 3.39% dengan nilai ketepatan pada modul sensor INA 219 sebesar 96.61%. Pukul 13.00 tegangan panel surya terbaca oleh sensor sebesar 15.66 V, sedangkan pada multimeter terbaca sebesar 16.21 V maka nilai selisih nya sebesar 3.39% dengan nilai ketepatan pada modul sensor INA 219 sebesar 96.61%.

Maka nilai rata-rata nilai selisih dari hasil perhitungan dan pengujian modul sensor INA219 adalah sebagai berikut :

$$\frac{3{,}38 + 3{,}39 + 3{,}39}{3} = 3{,}38\%$$

Jadi nilai rata-rata nilai selisih dari hasil pembacaan modul sensor INA219 dan multimeter sebesar 3,38%. Rata rata nilai keakuratan /ketepatansensor INA 219 adalah sebagai berikut :

$$\frac{96{,}62 + 96{,}61 + 96{,}61}{3} = 96{,}61\%$$

Tabel 4. 2 pengujian Arus sensor INA 219

Waktu Pengujian	Nilai Arus Sensor (A)	Nilai Arus Multimeter(A)	Selisih (%)	Akurasi (%)
11.00	1,0	1,0	0%	100%
12.00	1,1	1,1	0%	100%
13.00	1,2	1,2	0%	100%
Rata rata			0%	100%

Pada tabel 4.2 diatas pengujian arus INA 219 dihubungkan dengan output panel surya yang dibandingkan dengan alat multimeter.hasilnyatidak terdapat selisih diantara keduanya, yang menjadikan nilai keakuratanya sebesar 100%.

4.2.2 Pengujian Sensor Intensitas Cahaya BH1750

Pengujian sensor Intensitas Cahaya BH1750 digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya yang masuk ke panel surya.

Tabel 4. 3 pengujian Intensitas cahaya matahari yang dihasilkan sensor BH1750

Jam	Sensor BH1750	Nilai Lux meter	Selisih	Akurasi

	(Lux)		(%)	(%)
11.00	54084	54192	0,19	99,80
12.00	64076	64204	0,19	99,80
13.00	64032	64161	0,20	99,79
Rata Rata			0,19	99,79

Pada tabel 4.3 dapat dilihat hasil pengujian sensor intensitas Cahaya BH1750 yang di bandingkan dengan alat ukur Lux meter. Pengujian dilakukan pada pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00. Nilai selisih rata-rata yang dihasilkan dari sensor BH1750 dengan nilai luxmeter sebesar 0.19%. Maka untuk menentukan nilai akurasi dari sensor BH1750 dengan alat ukur luxmeter menggunakan persamaan berikut :

$$= 100\% - \qquad h$$

Maka nilai rata- rata akurasi dari pengujian sensor BH1750 adalah sebesasar 99.79%

4.2.3 Pengujian Sensor Temperatur DS18B20

Pengujian sensor temperatur DS18B20 digunakan dalam mengukur temperatur pada permukaan PV.

Tabel 4. 4 pengujian temperatur pada permukaan PV yang dihasilkan sensor DS18B20

Jam	Sensor DS18B20 (C°)	Nilai Thermogun (C°)	Selisih (%)	Akurasi (%)
11.00	42.6	43,1	1,16	98,84
12.00	43.8	44,3	1,13	98,87
13.00	44.1	44,6	1,12	98,88
Rata rata			1,13	98,87

Pada tabel 4.4 dapat dilihat hasil pengujian sensor Temperatur DS18B20 yang di bandingkan dengan alat ukur Thermogun. Pengujian dilakukan pada pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00. Nilai selisih rata-rata yang dihasilkan dari sensor DS18B20 dengan nilai Thermogun sebesar 1.13%. Maka untuk menentukan nilai akurasi dari sensor DS18B20 dengan alat ukur Thermogun menggunakan persamaan berikut :

$$= 100\% - \qquad h$$

Maka nilai rata- rata akurasi dari pengujian sensor BH1750 adalah sebesasar 98.87%.

4.2.4 Pengujian Sensor Kelembaban DHT 22

Pengujian kelembaban pada area PV yang dihasilkan sensor DHT 22 digunakan dalam mengukur kelembaban

Tabel 4. 5 pengujian sensor DHT 22

Jam	Sensor DHT22 (%)	Nilai Hygrometer (%)	Selisih (%)	Akurasi (%)
11.00	65	68	4,41	95,59
12.00	64	66	3,03	96,97

13.00	64	66	3,03	96,97
Rata rata			3,49	96,51

Pada tabel 4.5 dapat dilihat hasil pengujian sensor kelembababn DHT 22 yang di bandingkan dengan alat ukur Hygrometer. Pengujian dilakukan pada pukul 11.00 sampai dengan pukul 13.00. Nilai selisih rata-rata yang dihasilkan dari sensor DHT 22 dengan nilai Hygrometer sebesar 3,49%. Maka untuk menentukan nilai akurasi dari sensor dht22 dengan alat ukur luxmeter menggunakan persamaan berikut :

$$= 100\% - \qquad h$$

Maka nilai rata- rata akurasi dari pengujian sensor DHT 22 adalah sebesasar 96.51%

4.3 Pengujian dan Pengambilan data PV dengan sistem pendingin

Pengambilan pengukuran output PV dengan menggunakan sistem pendingin yaitu dengan parameter tegangan,arus,daya,temperatur PV,Inensitas cahaya,dan kelembaban.



Gambar 4. 3 Proses pengujian PV dengan sistem pendingin dengan monitoring output pada aplikasi Blynk

1. Pengukuran pada tanggal 13 Juli 2024

Tabel 4. 6 Pengukuran output PV dengan sistem pendingin

Jam	Radiasi (W/m^2)	Temp. PV (C°)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	RH(%)
10.00	415,67	33,56	15,72	2,98	46,8	68
11.00	431,43	31,43	15,74	2,98	46,9	65
12.00	508,15	30,56	15,66	2,89	44,94	64
13.00	514,06	34,3	15,66	2,79	43,69	64
14.00	505,52	34,31	14,62	2,2	32,16	59
15.00	338,1	35	13,51	1,8	15,93	54
Rata rata	452,15	33,19	15,15	2,61	38,4	62,33

Pada tabel 4.6 dari hasil pengukuran di tanggal 13 juli 2024 pada tabel diatas dapat dilihat radiasi matahari rendah yaitu pada jam 15.00 yang di dapat 338,1 W/m^2 dan radiasi tinggi nya itu 514,06 W/m^2 pada jam 13.00. Kondisi cuaca cerah, jadi rata rata radiasi matahari yaitu sebesar 452,15 W/m^2.

Dari hasil pengukuran rata rata tegangan sebesar 15,15 V , arus sebesar 2,61 A ,daya 38,4 W dan kelembaban 62,33% dengan temperatur panel surya sebesar 33,19 °C .

4.5 Pengujian dan Pengambilan data PV non-Sistem Pendingin

Pengambilan data pada pengukuran output PV tanpa adanya sistem pendingin yaitu dengan parameter tegangan,arus,daya,temperatur panel surya,Inensitas cahaya,kelembaban.

1. Pengukuran pada tanggal 13 Juli 2024

Tabel 4. 7 Pengukuran output PV non sistem pendingin

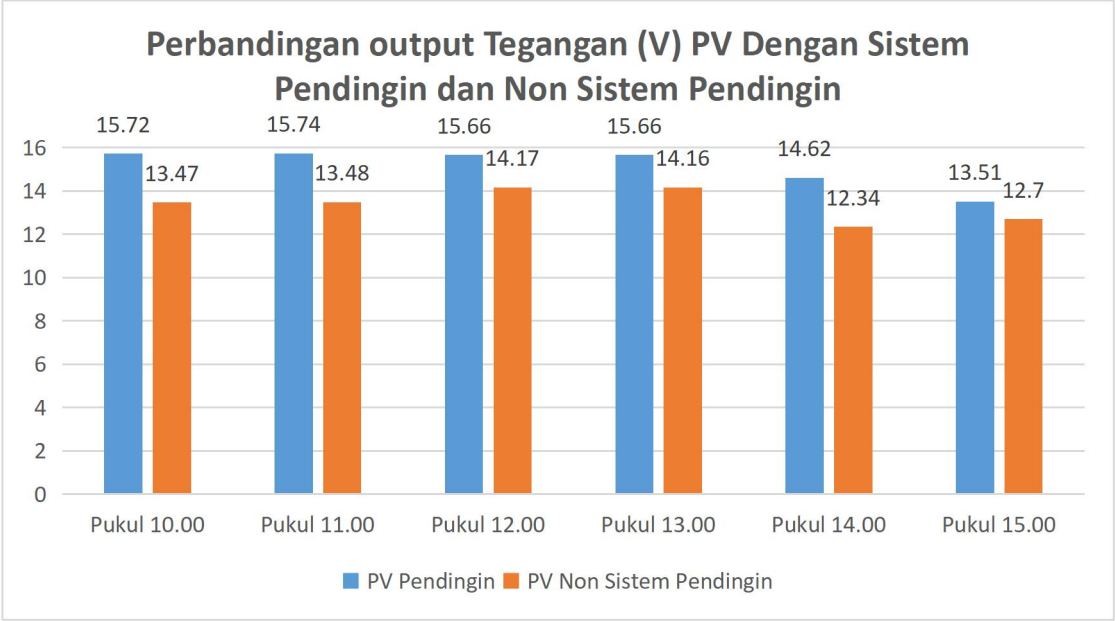
Jam	Radiasi (W/m^2)	Temp PV (C°)	Tegangan(V)	Arus (A)	Daya (W)	RH(%)
10.00	415,67	43,51	13,47	1	13,47	68
11.00	431,43	44,52	13,48	1.1	14,82	65
12.00	508,15	46,42	14,17	2,2	31,17	64
13.00	514,06	48,81	14,16	2,2	31,15	64
14.00	505,52	43,81	12,34	1,5	18,51	59
15.00	338,1	43,75	12.7	1,1	13,97	54
Rata-Rata	452,15	45,14	13,52	1,6	20,52	62,33

Pada tabel 4.6 dari hasil pengukuran di tanggal 13 juli 2024 pada tabel diatas dapat dilihat radiasi matahari rendah yaitu pada jam 15.00 yang di dapat 338,1 W/m^2 dan radiasi tinggi nya itu 514,06 W/m^2 pada jam 13.00. Kondisi cuaca cerah, jadi rata rata radiasi matahari yaitu sebesar 452,15 W/m^2.

Dari hasil pengukuran rata rata tegangan sebesar 13,52 V , arus sebesar 1,6 A ,daya 20,52 W dan kelembaban 62,33% dengan temperatur panel surya sebesar 45,14 °C .

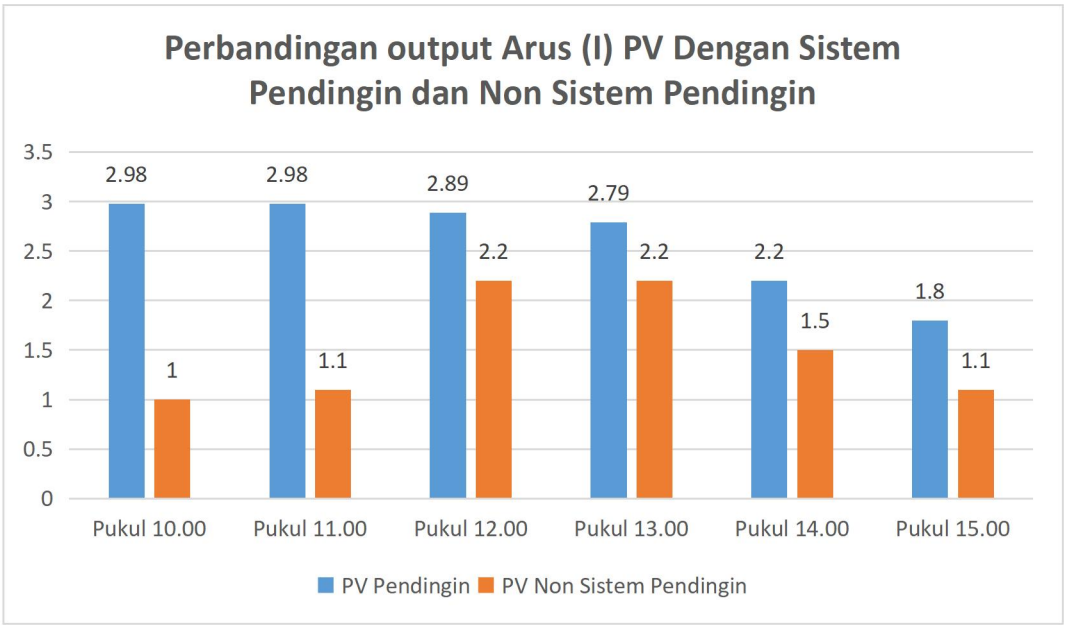
4.6 Analisa Tegangan,Arus,Daya ,Temperatur,Intensitas Cahaya,Kelembaban

Pengukuran tegangan ,arus, ,daya , temperatur PV ,intensitas cahaya, dan kelembaban memiliki tujuan untuk mengetahui berapa maksimal output yang dihasilkan PV terhadap intensitas cahaya matahari yang diterima.



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan output Tegangan (V) PV Dengan Sistem Pendingin dan Non Sistem Pendingin

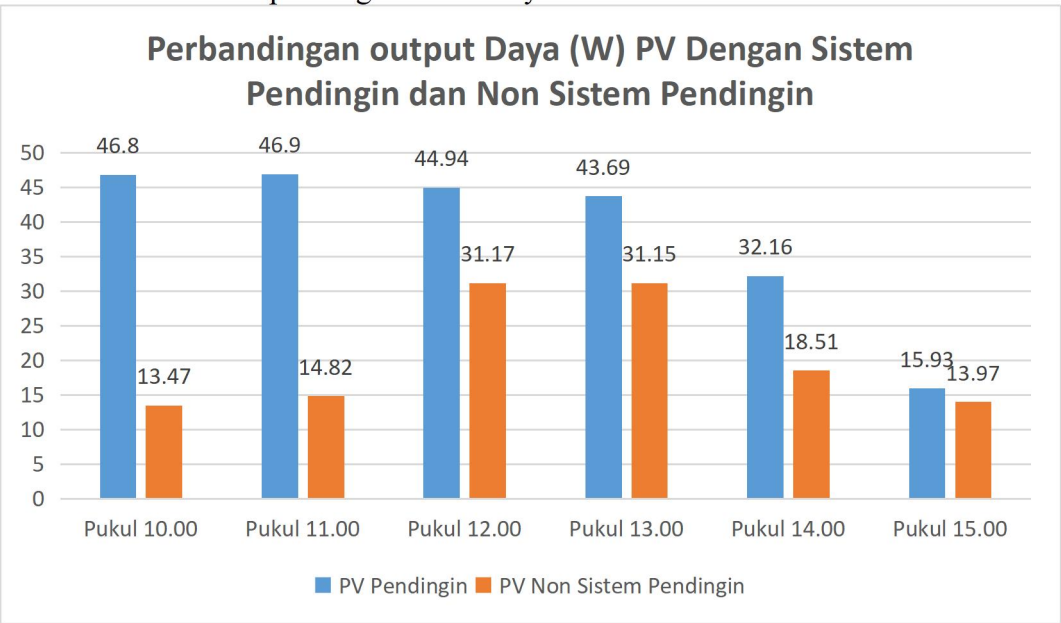
Dilihat pada gambar grafik diatas tegangan tertinggi dihasilkan pada pukul 11.00 dengan PV berpendingin 15,74 V dan non pendingin 14,17 V. Dan tegangan terendah terdapat pukul 15.00 PV pendingin 13,51 V dan PV non pendingin terendah yaitu 12,7 V.



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan output Arus (I) PV Dengan Sistem Pendingin dan Non Sistem Pendingin

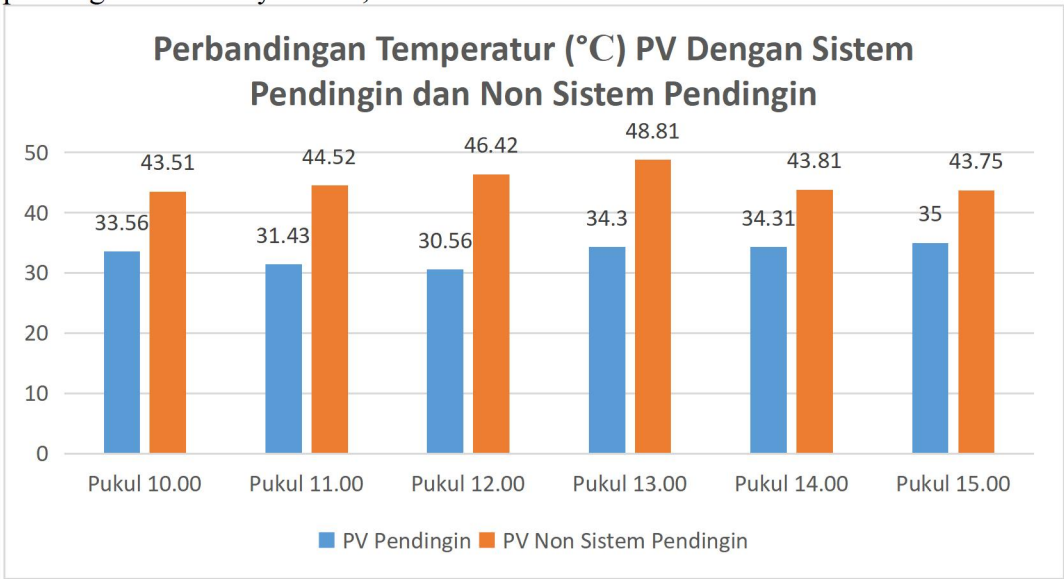
Dilihat pada gambar grafik diatas Arus tertinggi dihasilkan pada pukul 10.00 sampai 11.00 yaitu PV berpendingin 2,98 A dan pada pukul 12.00 sampai 13.00 untuk PV non pendingin 2,2 A. Dan arus terendah terdapat pukul 15.00 untuk PV pendingin 1,8A dan

pukul 10.00 untuk PV non pendingin terendah yaitu 1 A.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan output Daya (W) PV Dengan Sistem Pendingin dan Non Sistem Pendingin

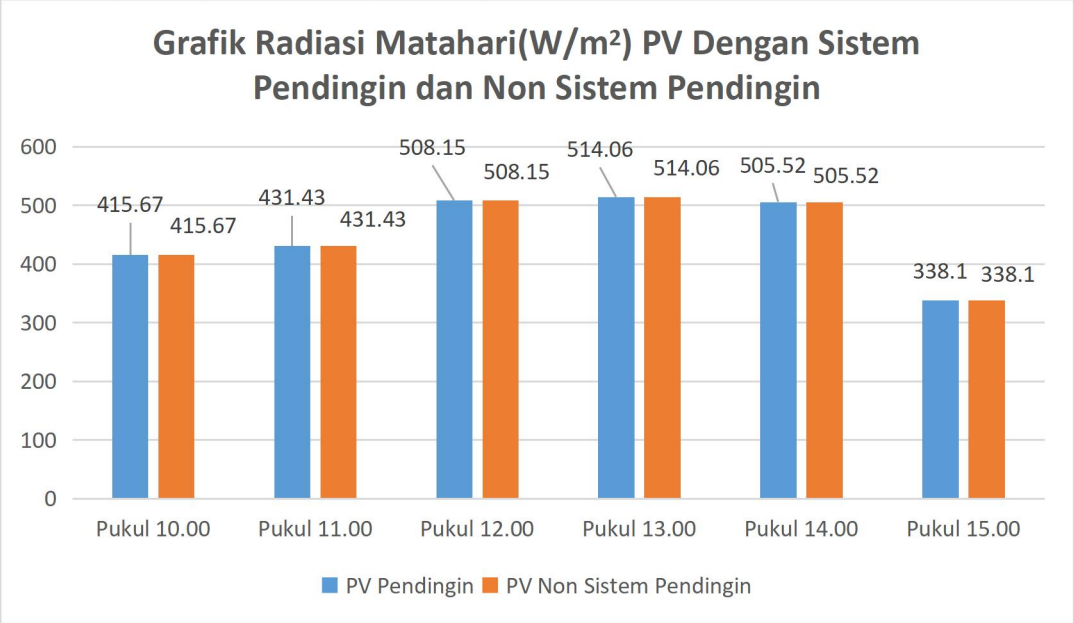
Dilihat pada gambar grafik diatas daya tertinggi dihasilkan pada pukul 11.00 yaitu PV pendingin 46,9 W dan pada pukul 12.00 untuk PV non pendingin 31,17 W. Dan arus terendah terdapat pukul 15.00 untuk PV pendingin 15,93 W dan pukul 10.00 untuk PV non pendingin terendah yaitu 13,47 W.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Temperatur (°C) PV Dengan Sistem Pendingin dan Non Sistem Pendingin

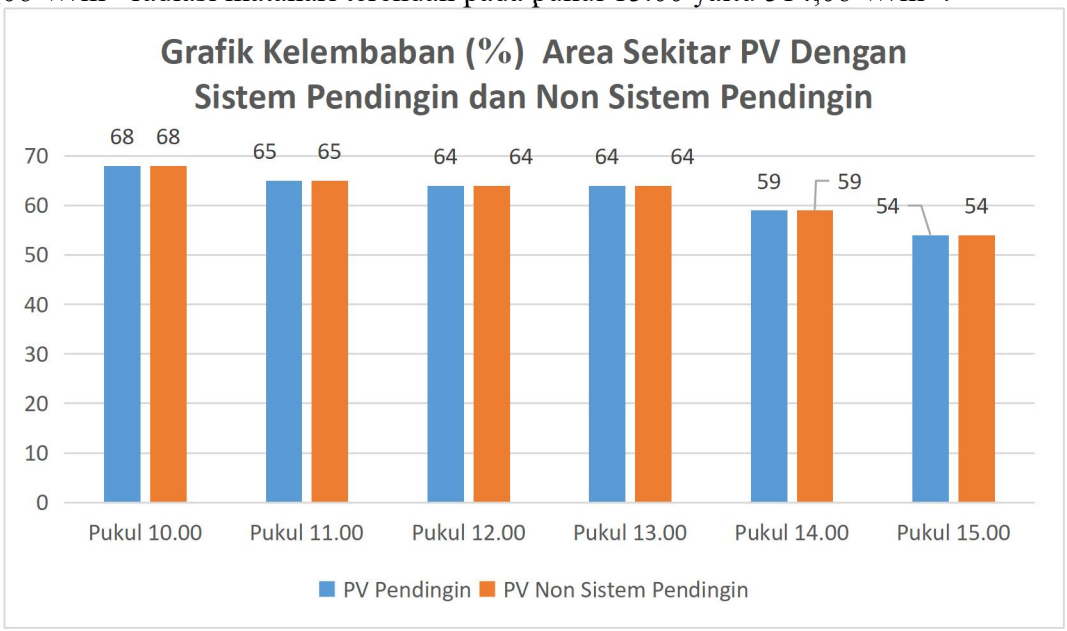
Dilihat pada gambar grafik diatas Temperatur PV tertinggi dihasilkan pada pukul 15.00 yaitu PV pendingin 35 °C dan pada pukul 13.00 untuk PV non pendingin 48,81 °C. Dan temperatur terendah terdapat pukul 12.00 untuk PV pendingin 30,56 °C dan pukul 10.00

untuk PV non pendingin terendah yaitu 43,51°C.



Gambar 4. 8 Grafik Radiasi Matahari(W/m^2) PV Dengan Sistem Pendingin dan *Non* Sistem Pendingin

Dilihat pada gambar grafik diatas radiasi matahari tertinggi adalah pukul 13.00 yaitu 514,06 W/m^2 radiasi matahari terendah pada pukul 15.00 yaitu 514,06 W/m^2 .



Gambar 4. 9 Grafik Kelembaban (%) Area Sekitar PV Dengan Sistem Pendingin dan Non Sistem Pendingin

Dilihat pada gambar grafik diatas Kelembaban tertinggi adalah pukul 10.00 yaitu 68% dan kelembaban terendah pada pukul 15.00 yaitu 54%

4.7 Analisa Efisiensi PV dengan Sistem Pendingin dan PV non Sistem Pendingin

Analisa efisiensi PV yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas daya maksmimum 100 Wp .

Tabel 4. 8 Analisa pengukuran output PV sistem pendingin dan non sistem pendingin

Jam	Radiasi (W/m^2)	PV Pendingin			PV non Sistem Pendingin		
		Temperatur (°C)	Tegangan (V)	Arus (I)	Temperatur (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
10.00	415,67	33,56	15,72	2,98	43,51	13,47	1
11.00	431,43	31,43	15,74	2,98	44,52	13,48	1.1
12.00	508,15	30,56	15,66	2,89	46,42	14,17	2,2
13.00	514,06	34,3	15,66	2,79	48,81	14,16	2,2
14.00	505,52	34,31	14,62	2,2	43,81	12,34	1,5
15.00	338,1	35	13,51	1,8	43,75	12.7	1,1
Rata-Rata	452,15	33,19	15,15	2,61	45,14	13,52	1,6

Efisiensi PV ini dihasilkan dari rata rata pengukuran Tegangan dan Arus pada PV tersebut. Setelah dihitung rata rata radiasi matahari yang diterima yaitu sebesar 452,15 W/m^2 dan luas modul PV sebesar 0,5092 m^2.

1. **Menghitung Nilai Efisiensi PV dengan sistem pendingin**

   Tegangan (V) rata rata = 15,15 V

   Arus (I) rata rata = 2,61 A

   Radiasi matahari yang diterima PV = 452,15 W/m^2

   a. Daya yang dihasilkan PV dengan sistem pendingin

   P_{out} = V x I

   = 15,15 x 2,61 =39,54 W

   b. Luas Permukaan PV yaitu **A = P x l** = 0.76 m x 0,67 m = 0,5092 m^2

   c. Daya yang diterima PV sistem pendingin

   P_{in} = Radiasi matahari yang diterima (W/m^2) x Luas Permukaan PV (A)

   = 452,15 x 0,5092 = 230,24 W

   d. Efisiensi PV sistem pendingin

   $$\eta = \frac{Pout}{Pin}\ x\ 100\ \%$$

   Dimana :

   - η adalah Efisiensi Photovoltaic
   - Pin adalah daya radiasi matahari yang diterima oleh PV (dalam Watt)
   - Pout adalah daya listrik yang di hasilkan oleh Pv (dalam Watt)

   $$\eta = \frac{Pout}{Pin} \text{ x } 100\ \%$$

   $$= \frac{39,54}{230,24} \text{ x } 100\ \% = 17,17\ \%$$

2. **Menghitung Nilai Efisiensi PV non sistem pendingin**

   Tegangan (V) rata rata = 13,52 V

Arus (I) rata rata = 1,6 A
Radiasi matahari yang diterima PV = 452,15 W/m^2

a. Daya yang dihasilkan PV non sistem pendingin

P_{out} = V x I
= 13,52 x 1,6 = 21,63 W

b. Luas Permukaan PV yaitu **A = P x l** = 0.76 m x 0,67 m = 0,5092 m^2

c. Daya yang diterima PV non sistem pendingin

P_{in} = Radiasi matahari yang diterima (W/m^2) x Luas Permukaan PV (A)
= 452,15 x 0,5092 = 230,24 W

d. Efisiensi PV sistem pendingin

$$\eta = \frac{Pout}{Pin}\ x\ 100\ \%$$

Dimana :

- η adalah Efisiensi Photovoltaic
- Pin adalah daya radiasi matahari yang diterima oleh PV (dalam Watt)
- Pout adalah daya listrik yang di hasilkan oleh PV (dalam Watt)

$$\eta = \frac{Pout}{Pin} \text{ x } 100\ \%$$

$$= \frac{21,63}{230,24} \text{ x } 100\ \% = 9,39\ \%$$

3. Menghitung Peningkatan Efisiensi

Rumus peningkatan Efisiensi (%)

$$= \frac{\eta\ PV\ Sistem\ pendingin - \eta\ \text{PV non sitem pendingin}}{\eta\ \text{non sitem pendingin}}\ x\ 100\%$$

$$= \frac{17,17\ \% - 9,39\ \%}{9,39\ \%}\ x\ 100\%$$

= 82,89 %

Dari perhitungan hasil nilai efisiensi bahwa penerapan sistem pendingin pada PV dapat meningkatkan kinerja yang lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang sudah dilakukan maka, dapat saya buat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari photovoltaic (PV) dengan sistem pendingin menunjukkan tegangan output rata-rata sebesar 15,15 V, arus 2,61 A, dan daya 39,54 W, dengan efisiensi daya sebesar 17,17%. Sebagai perbandingan, PV tanpa sistem pendingin menghasilkan tegangan output rata-rata sebesar 13,52 V, arus 1,6 A, dan daya 21,63 W, dengan efisiensi daya sebesar 9,38%. Peningkatan efisiensi dengan penerapan sistem pendingin adalah sebesar 82,89%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pendingin yang efektif sangat berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi output daya pada PV.
2. Pengembangan dan implementasi sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pengawasan kinerja dan kondisi sistem pendingin pada PV secara real-time. Sistem monitoring ini membantu dalam memantau perubahan temperatur pada permukaan PV dan parameter lainnya yang mempengaruhi kinerja sistem. Dengan adanya monitoring berbasis IoT, efisiensi dan performa dari sistem pendingin dapat dioptimalkan

secara lebih efektif, memastikan bahwa sistem pendingin berfungsi sesuai yang diharapkan dan dapat memberikan peningkatan efisiensi daya pada PV.

DAFTAR PUSTAKA

Anggara, M., & Saputra, W. (2023). Analisis Kinerja Sel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB. *Jurnal Flywheel*, *14*(1), 7–12. https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i1.6521

Kristi, A. A., Alhaddad, A., Abdurrahman, M., & Arief, N. (2020). Perancangan-Sistem-Pendingin-Photovoltaic. *Perancangan Sistem Pendingin Photovoltaic Dengan Memanfaatkan Kontroler Water Spray*, *12*(2), 47–53.

Kurniawan, G. W., Agung, I. G. A. P. R., & Rahardjo, P. (2023). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, *22*(1), 133. https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i01.p17

Kusumaning Tiyas, P., & Widyartono, M. (2020). Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya. *Jurnal Teknik Elektro*, *09*(01), 871–876.

Loegimin, M. S., Sumantri, B., Nugroho, M. A. B., Hasnira, H., & Windarko, N. A. (2020). Sistem Pendinginan Air Untuk Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic. *Jurnal Integrasi*, *12*(1), 21–30. https://doi.org/10.30871/ji.v12i1.1698

Moharram, K. A., Abd-elhady, M. S., Mesin, D. T., & Beni-suief, U. (2013). *Meningkatkan kinerja panel fotovoltaik dengan pendingin air*. 869–877.

Nurhidayah, S. (2020). Pengaruh sudut kemiringan panel surya (pv) Terhadap Keluaran Daya. *SELL Journal*, *5*(1), 55.

Pido, R., Himran, S., & Mahmuddin. (2018). Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi. *Jurnal Teknik Mesin Teknologi*, *19*(1), 31–38. https://ojs.unm.ac.id/teknologi/article/view/7858/4578

Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, *18*(1), 10–14. https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251

Puspasari, F., Satya, T. P., Oktiawati, U. Y., Fahrurrozi, I., & Prisyanti, H. (2020). Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, *16*(1), 40. https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5776

Rahajoeningroem, T., & Jatnika, I. (2022). Sistem Pendingin Otomatis Panel Surya Untuk Peningkatan Daya Output Berbasis Mikrokontroler. *Telekontran*, *10*(1).

Rahayu, W. S., & Rijanto, T. (2019). Rancang Bangun Sistem Pendinginan Menggunakan Air Untuk Meningkatkan Daya Keluaran Pada Modul Photovoltaic Berbasis Arduino Mega 2560 Dan Kendali Fuzzy. *Jurnal Teknik Elektro*, *8*(2), 313–320.

Siswanto, A., Sitepu, R., Lestariningsih, D., Agustine, L., Gunadhi, A., & Andyardja, W. (2020). Meja Tulis Adjustable Dengan Konsep Smart Furniture. *Scientific Journal Widya Teknik*, *19*(2), 2621–3362.

Zendrato, M. B., Anisah, S., & Tarigan, A. S. P. (2022). *Electrical Current Limiting Tool Using Arduino Microcontroller*. *10*(3), 190–196.

Zulkarnaen. (2020). Smart Sprayer Disinsfektan Berbasis Mikrokontroler Atmega328. *TEKNIMEDIA: Teknologi Informasi Dan Multimedia*, *1*(1), 22–27. https://doi.org/10.46764/teknimedia.v1i1.10