

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PERMUKAAN SEL SURYA TERHADAP KAPASITAS DAYA KELUARAN

EFFECT OF SURFACE TEMPERATURE OF SOLAR CELL ON THE POWER OUTPUT

Fathur Rahman¹, Mamat Rokhmat², Indra Wahyudin Fathonah³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fathururrahmanu@student.telkomuniversity.ac.id

²mamatrokhmat@telkomuniversity.ac.id ³indrafathonah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Tugas akhir ini membahas tentang pengaruh temperatur permukaan sel surya terhadap kapasitas daya keluaran dengan suatu hipotesis yang mengatakan pada pukul 12.00 – 16.00 output dalam kondisi optimal tetapi ada penurunan kinerja sel surya sebagai akibat dari meningkatnya temperatur pada rentang waktu tersebut. Penelitian ini dilakukan di *rooftop* Gedung P (Deli) Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom dengan mengambil beberapa data menggunakan alat ukur temperatur permukaan sel surya dan arus yang dihasilkan sehingga mendapatkan data yang lebih akurat dan kontinu. Pengambilan data temperatur dilakukan pada tiga titik untuk memperoleh nilai temperatur permukaan panel surya. Selain itu, penelitian juga mengambil data intensitas cahaya. Pada penelitian ini, diperoleh nilai intensitas yang sama namun memiliki nilai arus dan temperature yang berbeda. Nilai daya keluaran pada panel surya dari pukul 12.00 hingga 16.00 menunjukkan penurunan dengan rata-rata penurunan sebesar 2,8991 W setiap 15 menit atau setara 0,1932 W/menit. Dengan kesimpulan bahwa temperatur memiliki pengaruh terhadap besar kapasitas daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan pengaruh rata-rata sebesar 2,42 W/°C. Semakin tinggi temperatur panel surya maka kinerja panel surya akan menurun.

Kata Kunci : *Sel surya, temperature, energi terbarukan*

Abstract

This final project discusses the change in the temperature of the solar cell with respect to capacity of the output power with the hypothesis that at 12.00 – 16.00 the output is in optimal conditions but there is a decrease in the solar cell as a result of the temperature in the specified time span. This research was conducted on the roof of P Building (Deli), Faculty of Electrical Engineering, Telkom University by taking some data using solar cell temperature measurement device and the resulting current so as to obtain more accurate and continuous data. Temperature data collection was carried out at three points to obtain the surface temperature value of the solar panel. In addition, the study also took light intensity data. In this study, we obtained the same intensity value but had different values for current and temperature. The value of the output power on the solar panel from 12.00 to 16.00 shows a decrease with an average decrease of 2,8991 W every 15 minutes or the equivalent of 0,1932 W/minute. In conclusion that temperature has an influence on the power capacity generated by solar panels with an average effect of 2,42 W/°C. The higher the temperature of the solar panels, the lower the performance of the solar panels.

Key word : *solar cell, temperature, renewable energy*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Panel surya merupakan suatu energi terbarukan yang memanfaatkan cahaya matahari. Berdasarkan informasi resmi pada website Dewan Energi Nasional, Pembangkit Listrik Tenaga Surya menjadi salah satu pilihan bagi Indonesia dalam menyediakan kebutuhan listrik kepada masyarakat [1]. Selain itu, pembangkit listrik tenaga surya sudah digunakan oleh beberapa lembaga dan instansi dalam memenuhi kebutuhan listriknya sendiri, seperti Pondok Pesantren Wali Barokah, di Kediri, Jawa Timur serta instansi seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan lain-lain.

Beberapa penelitian mendapatkan bahwa daya keluaran pada panel surya dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya matahari yang diserap oleh panel surya [2]. Namun, sebuah penelitian panel surya mengemukakan kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur lingkungan sekitar panel surya, daya listrik yang dihasilkan akan semakin berkurang. Penelitian tersebut dilakukan dengan melakukan pengujian yang mengukur tiga parameter, yaitu parameter intensitas cahaya matahari, parameter daya keluaran, serta parameter temperatur pada permukaan sel surya di waktu yang sama. Hasil yang didapatkan setelah mengukur parameter tersebut yaitu terdapat penurunan daya keluaran dengan tingkat penurunan 0,7113 W/C. Penurunan tersebut disertai dengan peningkatan temperatur pada permukaan sel surya, sehingga hal ini membuktikan bahwa temperatur juga mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh sel surya [3].

M. Ramdhan Kirom [6] melalui penelitian dengan metode yang sama, untuk menguji efisiensi dari panel surya dengan membandingkan nilai efisiensi panel surya yang menggunakan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin. Akan tetapi, pada penelitian tersebut sistem pendingin dirancang menggunakan *thermoelectric* sebagai penyerap panas dan air sebagai bagian dingin *thermoelectric* tersebut. Setelah dilakukan pengujian dan membandingkan efisiensi dari panel surya yang memakai sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin, diperoleh rata-rata daya keluaran panel surya dengan pendingin yaitu sebesar 2,774 W dibandingkan rata-rata daya keluaran panel surya tanpa sistem pendingin sebesar 2,339 W, sehingga presentase peningkatan efisiensi sebesar 18,53% jika dibandingkan dengan panel surya sistem pendingin [6].

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat kesimpulan yang saat ini menjadi dasar informasi terkait panel surya. Dalam penjelasan literasi tersebut, dikemukakan bahwa kenaikan dan penurunan temperatur pada permukaan sel surya mempengaruhi daya keluaran yang akan dihasilkan. Kenaikan dan penurunan temperatur akan memberikan gangguan pada elektron yang berada di semikonduktor sehingga efek fotovoltaiik tidak terjadi secara optimal. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh temperatur permukaan sel surya terhadap kapasitas daya keluaran. Penelitian ini sangat penting untuk dilaksanakan dikarenakan hasil dari penelitian ini dapat menjadi referensi utama dalam pengembangan untuk optimalisasi dan peningkatan efektifitas penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sehingga dapat digunakan oleh seluruh kalangan masyarakat di Indonesia dan dunia. Selain itu, penelitian ini diharapkan akan membantu untuk pembuatan sistem pembuangan panas pada sel surya serta inovasi lainnya sehingga dapat memberikan efektifitas penggunaan sel surya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Terbarukan di masa yang akan datang.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, rumusan masalah yang akan diangkat adalah sebagai berikut :

1. Apakah daya keluaran yang dihasilkan akan mengalami penurunan pada pukul 12.00 – 16.00 WIB?
2. Bagaimana pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap kapasitas daya yang dihasilkan?

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya pada pukul 12.00 – 16.00 WIB?
2. Bagaimana pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap kapasitas daya yang dihasilkan?

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi dalam membuat rancangan sistem pembangkit listrik tenaga terbarukan yang lebih efektif dengan memberikan solusi terhadap hasil penelitian
2. Meningkatkan efektifitas dan daya tarik dalam penggunaan dan pengalihan pembangkit listrik tenaga fosil menjadi tenaga energi terbarukan

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fokus pengambilan data pada rentang waktu pukul 12.00 – 16.00 WIB
2. Pengambilan data menggunakan alat ukur dilakukan pada pengukuran temperatur, arus, tegangan, dan intensitas cahaya
3. Pemantauan cuaca sebagai parameter tambahan dilakukan secara manual tanpa menggunakan alat ukur
4. Pengambilan data dilakukan saat kondisi cuaca tidak turun hujan
5. Penelitian ini hanya menggunakan tiga buah termokopel sebagai sensor temperatur
6. Bingkai panel surya terbuat dari bahan isolator lemah
7. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan satu posisi sudut kemiringan yang sama di setiap pengambilan data

1.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut :

- **Studi literatur**

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan informasi untuk mendalami permasalahan tersebut. Dengan mengambil minimal 10 referensi literatur yang berkaitan dengan topik penelitian yang akan diteliti

- **Metode rancang bangun alat monitoring**

Yaitu merancang alat monitoring dengan menggunakan sensor suhu termokopel, Arduino uno, dan *solar charge controller* sebagai komponen utama sehingga alat monitoring yang dirancang secara otomatis dan kontinu dapat mengambil data temperatur pada permukaan panel, sehingga memiliki data yang lebih akurat

- **Diskusi**

Yaitu dengan melakukan tanya jawab dengan pembimbing proposal tugas akhir terkait topik penelitian

- **Penyusunan dan pengambilan data**

Yaitu tahap terakhir dimana segala informasi yang telah didapat disusun sebagai dokumentasi dari pelaksanaan penelitian. Dokumentasi ini bertujuan agar memudahkan orang lain mempelajari dan mengembangkan apa yang terdapat pada laporan dapat bermanfaat bagi orang lain.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Panel Surya

Panel Surya merupakan salah satu alat yang dikembangkan oleh ilmuwan untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Para ilmuwan mengembangkan panel surya berdasarkan prinsip konversi energi sel surya menjadi energi listrik melalui hukum kekekalan energi. Sel surya sendiri merupakan komponen yang dibuat menggunakan bahan semikonduktor yang memiliki daya absorpsi panas yang lebih baik dibandingkan material lainnya.

Panel surya mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *Photovoltaic*. Yang dimaksud dengan efek *Photovoltaic* adalah suatu fenomena munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan system padatan atau cairan saat mendapat sinar matahari. Oleh karena itu, Sel Surya atau *Solar Cell* sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV).

2.2. Sinar Matahari dan Energi Foton

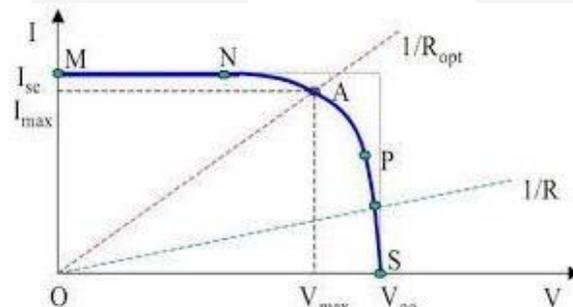
Sinar matahari bersumber pada matahari yang berperan sebagai sumber cahaya terbesar di alam semesta. Matahari sebagai pusat alam semesta yang menjadi pusat peredaran benda langit seperti meteorit, bintang dan juga planet termasuk bumi. Bumi ikut beredar mengelilingi matahari, Oleh karena itu, di setiap waktu di seluruh belahan bumi secara bergantian akan terkena sinar matahari. Salah satu kandungan yang terpancarkan di dalam sinar matahari yaitu energi foton. Energi foton merupakan salah satu energi alami yang tersedia di alam. Energi foton tidak dapat ditangkap oleh panca indra. Foton sendiri merupakan bagian dari partikel cahaya. Kuantitas energi foton sebanding dengan besar frekuensi yang akan diberikan dari gelombang cahaya tersebut. Jika energi foton rendah maka frekuensi yang akan diberikan juga rendah. Begitupun sebaliknya jika energi foton tinggi maka frekuensi yang diberikan juga akan semakin tinggi. Dengan hal tersebut, energi foton dapat memberikan radiasi dan menularkan energinya yang berupa energi positif kepada manusia dan benda lain. Pertama radiasi foton sedang berupa cahaya tampak.

2.3. Photovoltaic (PV) Effect

Photovoltaic (PV) merupakan suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mengubah cahaya matahari atau radiasi matahari menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* merupakan sebuah fenomena di mana sebuah material semikonduktor atau lainnya mampu menyerap cahaya matahari. Energi foton yang terdapat dalam cahaya matahari berpengaruh terhadap panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang diserap oleh sel PV yang akan memicu timbulnya arus listrik dengan memberikan pengaruh terhadap elektron-elektron yang berada di dalam sel PV tersebut sehingga elektron akan bergerak menuju daerah *junction* pada semikonduktor sehingga dapat menghasilkan beda potensial (voltase listrik). Timbulnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat *diexpose* di bawah energi sinar matahari. Sebuah elektron dapat berpindah melewati pita valensi dan menimbulkan arus listrik apabila nilai energi foton sama besar atau lebih besar daripada energi gap. Energi gap merupakan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan electron dari pita valensi menuju pita konduksi

2.4. Karakteristik Sel Surya

Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Karakteristik panel surya terdiri dari kurva arustegangan dan kurva daya-tegangan.



Gambar 1. Kurva Karakteristik Hubungan arus dan tegangan

2.5. Hubungan Temperatur Permukaan Sel Surya dan Daya Keluaran

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur panel tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C (dari 25 °C) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk kenaikan temperatur panel per 10 °C.

Beberapa penelitian telah menganalisis pengaruh temperatur permukaan sel surya melalui beberapa metode. Penelitian tersebut pernah dilakukan dengan metode sistem pendingin sel surya dengan memasang *heatsink fan* pada wadah sel surya berupa *acrylic* yang telah dibuatkan lubang. Terdapat dua *heatsink fan* yang memiliki fungsi berbeda. *Heatsink fan* pertama berfungsi untuk mengeluarkan udara dari dalam wadah sel surya, dan *heatsink fan* kedua berfungsi untuk menyedot udara dari luar agar masuk ke dalam wadah untuk mendinginkan sel surya. Dalam penelitian tersebut dilakukan pengambilan data setiap satu jam sekali dengan pengambilan data berupa tegangan dan suhu. Nilai tegangan didapatkan menggunakan multimeter sedangkan temperatur didapatkan dengan menggunakan termometer laser. Sedangkan lux meter digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya. Setelah dilakukan pengambilan data, diperoleh data yang ditunjukkan pada tabel 1. Berikut :

Tabel 1. Data Referensi Temperatur Panel Surya

Waktu (WIB)	Suhu Body Panel Tanpa Pendingin (°C)	Suhu Body Panel Dengan Pendingin (°C)
09:00	42	35
10:00	51	33
11:00	57	38
12:00	58	37
13:00	54	38
14:00	52	38
15:00	37	33

Pada tabel 1. diatas dapat dilihat penggunaan *heatsink fan* dapat mempertahankan suhu pada *body* (Permukaan) panel surya. Setelah diperoleh bahwa sistem pendingin menggunakan *heatsink fan* berhasil mempertahankan temperatur permukaan pada sel surya, maka selanjutnya pada waktu bersamaan akan diambil data tegangan untuk melihat hubungan antara temperatur permukaan dengan tegangan yang dihasilkan. Untuk data tegangan yang dihasilkan pada penelitian tersebut ditunjukkan pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Tabel Perbandingan Tegangan

Waktu (WIB)	Tegangan Panel Tanpa Pendingin (V)	Tegangan Panel Dengan Pendingin (V)
09:00	19.03	19.33
10:00	19.16	19.31
11:00	18.76	19.12
12:00	18.73	19.07
13:00	18.85	19.08
14:00	18.61	19.08
15:00	18.5	18.81

Pada tabel 2. diatas didapatkan bahwa perbandingan tegangan yang dihasilkan pada panel surya dengan pendingin dan tanpa pendingin memiliki perbedaan. Diketahui bahwa panel surya yang menggunakan sistem pendingin menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Dalam hal ini tegangan telah merepresentasikan daya keluaran, sehingga dapat dicari peningkatan rata-rata efisiensi panel tersebut dengan menggunakan tegangan (arus dianggap konstan dan diabaikan). Maka diketahui kenaikan rata-rata efisiensi dari panel dengan menggunakan pendingin adalah 1,64 % dari efisiensi panel surya ini yang hanya 12,1 %. Jika dijumlahkan efisiensi panel surya yang menggunakan pendingin ini menjadi 13,74 %.

2.6. Faktor Pengaruh Daya Keluaran Sel Surya

Kerja maksimum dan daya keluaran sel surya tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur permukaan sel surya. Terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi daya keluaran sel surya. Faktor-faktor tersebut ada yang berpengaruh cukup besar dan ada juga yang kecil pengaruhnya. Faktor yang mempengaruhi kerja maksimum sel surya adalah sebagai berikut :

2.6.1. Radiasi Matahari

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diterima panel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun.

2.6.2. Kecepatan Angin Bertiup dan Keadaan Atmosfer Bumi

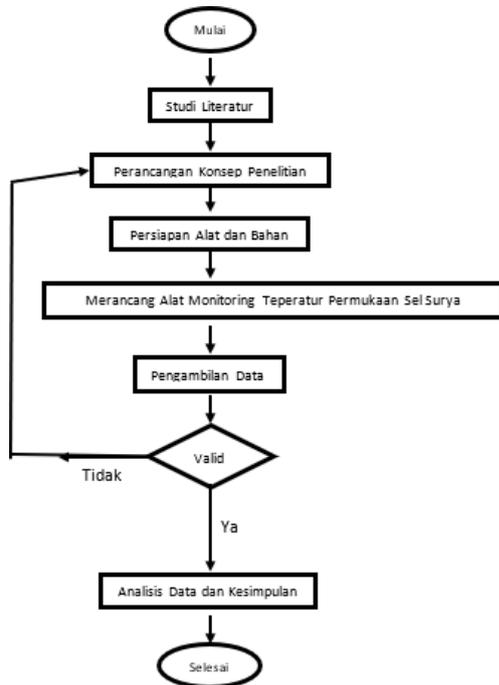
Kecepatan tiup angin disekitar lokasi panel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca panel surya. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari panel surya

2.6.3. Sudut Panel Surya dan Arah Matahari

Arah dari panel surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut kemiringan (*tilt angle*) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara *latitude*, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke selatan, orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

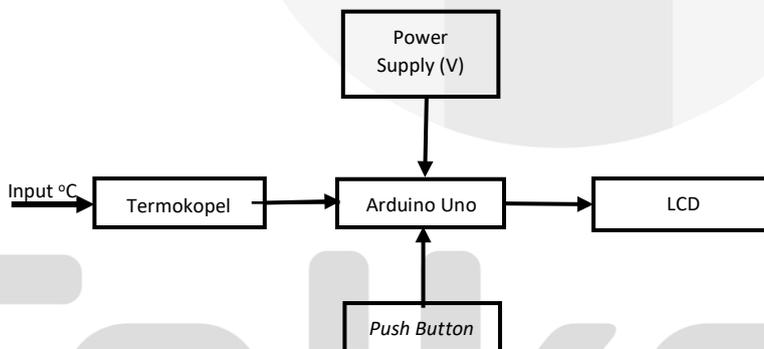
3. Perancangan Sistem

3.1. Desain Sistem



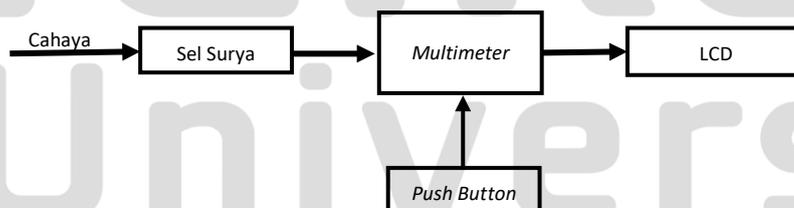
Gambar 2. Desain Sistem Tahapan Penelitian

3.2. Diagram Blok Sistem Pengukuran



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Pertama : Pengukur Temperatur

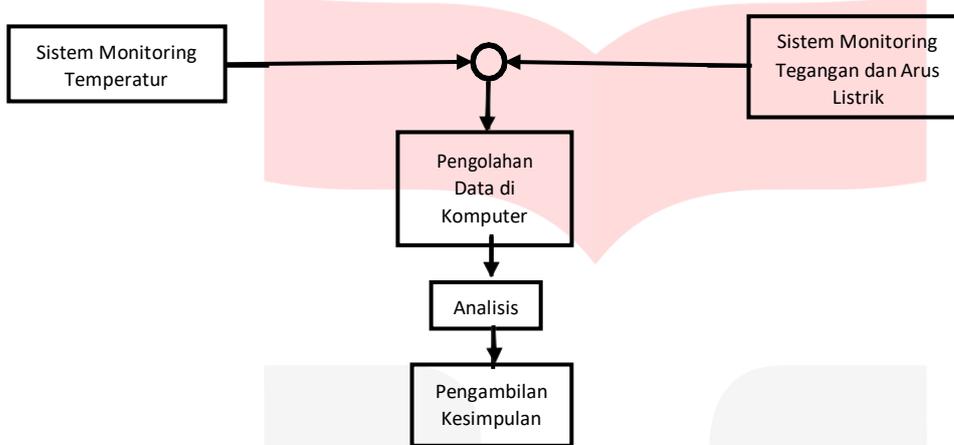
Diagram blok sistem pertama yaitu sistem monitoring temperatur, terdapat tiga komponen utama, yaitu termistor sebagai sensor temperatur, serta arduino uno sebagai mikrokontroler (*adc conversion*).



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Kedua : Pengukur Arus & Tegangan

Diagram blok sistem kedua yaitu sistem monitoring tegangan dan arus listrik dilakukan dengan multimeter. Sel surya akan mengkonversi cahaya matahari menjadi arus listrik yang kemudian akan diukur arus dan tegangan menggunakan multimeter pada salah satu kabel yang terhubung dengan panel surya.

3.3. Diagram Mekanis Sistem



Gambar 5. Mekanisme Sistem Pengukuran dan Analisis Data

Data yang telah didapatkan dari alat ukur temperature dan arus/tegangan akan digabung dengan \ diolah untuk mendapatkan hubungan dan pengaruh antara temperatur dan daya keluaran dari panel tersebut menggunakan analisis data di Microsoft excell.

3.4. Spesifikasi Panel Surya

Sel surya yang digunakan sebagai objek penelitian adalah sel surya tipe *Polycrystalline Silicon Cells*. Dengan spesifikasi seperti pada gambar 3.6 berupa *maximum power (Pmax)* sebesar 100 W, *Voltage at Max (Vmp)* pada nilai 17,6 V, *Current at Max (Imp)* pada nilai 5,7 A dan *temperature range* -45°C hingga +80°C.

4. Hasil dan Analisa Data

4.1. Hasil Pengukuran Temperatur Panel Surya

Pengujian temperatur panel surya dilakukan dengan mengukur nilai temperatur pada 3 buah titik yaitu titik A, titik B dan titik C. Titik A diukur pada titik tengah permukaan bidang luas panel surya, titik B diukur pada salah satu titik sudut permukaan bidang luas panel surya, sedangkan titik C diukur di luar panel surya. Titik C ini diukur untuk mengetahui selisih nilai temperatur permukaan panel surya dengan suhu yang diakibatkan paparan sinar matahari langsung, hal ini dilakukan untuk memperoleh nilai estimasi asli pada permukaan panel surya. Pengujian dilakukan selama 3 hari selama 4 jam dimulai pukul 12.00 hingga pukul 16.00.

Tabel 3. Data Pengukuran Temperatur Panel Surya

WAKTU	PENGUJIAN HARI KE								
	PERTAMA			KEDUA			KETIGA		
	TITIK A	TITIK B	TITIK C	TITIK A	TITIK B	TITIK C	TITIK A	TITIK B	TITIK C
12.00	48.62	48.61	37.12	38.12	38.12	31.44	41.18	41.17	35.05
12.15	48.64	48.64	37.02	39.28	39.28	32.12	41.08	41.09	36.10
12.30	51.44	51.43	39.05	34.71	34.71	32.99	39.91	39.93	34.88
12.45	47.33	47.33	36.57	35.97	35.97	33.50	40.51	40.54	34.91
13.00	42.79	42.78	36.08	40.32	40.32	35.46	34.23	34.22	30.46
13.15	40.12	40.09	32.99	38.44	38.44	31.40	33.12	33.13	29.40
13.30	38.91	38.90	31.56	38.31	38.31	32.91	32.89	32.89	29.91
13.45	39.17	39.19	32.8	37.18	37.18	32.89	33.27	33.27	30.89
14.00	35.18	35.19	33.87	31.02	31.02	27.91	30.11	30.10	27.91
14.15	31.20	31.10	29.08	35.92	35.92	31.79	33.04	33.03	29.79
14.30	24.11	24.12	22.05	33.21	33.21	29.80	33.05	33.03	30.80
14.45	25.76	25.75	22.9	32.97	32.97	29.93	32.89	32.84	29.33
15.00	27.51	27.51	23.8	35.91	35.91	33.12	29.78	29.77	25.90
15.15	25.66	25.66	20.07	27.00	27.00	23.81	29.42	29.43	25.80
15.30	19.44	19.44	18.05	20.41	20.41	18.22	28.73	28.72	24.72

15.45	20.43	20.43	18.33	22.09	22.09	19.29	28.23	28.23	25.29
16.00	29.91	29.90	22.29	21.35	21.35	18.34	19.12	19.12	18.34

4.2. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Panel Surya

Pengujian arus dan tegangan panel surya dilakukan dengan mengukur nilai arus dan keluaran panel surya secara *close circuit* atau pengukuran dengan adanya beban. Beban yang digunakan adalah baterai aki. Arus dan tegangan diukur pada kabel yang menyambungkan antara *controller* sel surya dengan baterai. Dilakukan bersamaan dengan mengukur temperatur selama 3 hari dalam 4 jam dimulai pukul 12.00 hingga pukul 16.00.

Tabel 4. Data Pengukuran Arus dan Tegangan

WAKTU	PENGUJIAN HARI KE											
	PERTAMA				KEDUA				KEEMPAT			
	Temp. A (°C)	Arus (A)	Tegangan (V)	Iradian (W/m ²)	Temp. A (°C)	Arus (A)	Tegangan (V)	Iradian (W/m ²)	Temp. A (°C)	Arus (A)	Tegangan (V)	Iradian (W/m ²)
12.00	48.62	4.82	18.66	854	38.12	4.06	17.29	751	41.18	5.98	19.45	777
12.15	48.64	5.1	18.66	854	39.28	4.90	17.34	754	41.08	5.36	18.22	767
12.30	51.44	5.86	19.12	857	34.71	4.04	17.20	739	39.91	5.32	18.22	765
12.45	47.33	5.76	19.01	844	35.97	4.07	17.31	747	40.51	5.64	18.76	796
13.00	42.79	5.52	18.91	796	40.32	4.82	18.01	694	34.23	5.58	18.11	733
13.15	40.12	5.76	18.75	794	38.44	4.44	17.59	641	33.12	5.36	18.10	694
13.30	38.91	5.90	18.70	764	38.31	4.36	17.43	637	32.89	5.10	17.83	685
13.45	39.17	5.62	18.38	767	37.18	4.08	17.28	612	33.27	5.18	17.88	676
14.00	35.18	4.26	17.77	754	31.02	3.96	17.09	599	30.11	4.66	17.16	623
14.15	31.2.0	4.02	17.55	703	35.92	4.16	17.38	668	33.04	5.02	17.80	689
14.30	24.11	3.52	15.98	201	33.21	3.99	17.24	623	33.05	5.10	17.81	680
14.45	25.76	3.8	14.01	214	32.97	3.89	17.11	518	32.89	4.94	17.82	643
15.00	27.51	3.94	13.96	244	35.91	4.10	17.31	623	29.78	4.34	16.86	612
15.15	25.66	3.7	12.44	211	27.00	3.90	14.31	238	29.42	4.18	16.27	402
15.30	19.44	2.64	12.19	198	20.41	2.78	13.01	202	28.73	3.98	15.33	372
15.45	20.43	3.98	13.42	190	22.09	2.96	14.39	293	28.23	3.66	15.43	296
16.00	29.91	4.66	17.53	202	21.35	2.84	14.13	205	19.12	1.70	9.10	181

4.3. Hasil Perhitungan Daya Panel Surya

Perhitungan daya dilakukan dengan menggunakan nilai arus dan tegangan yang telah didapatkan, yaitu dengan menggunakan rumus $P = I \times V$, sehingga setiap nilai arus dikalikan dengan tegangan yang didapatkan pada data waktu yang sama. Selain menghitung nilai daya keluaran, efisiensi panel surya juga dapat diperoleh dengan menggunakan rumus $\eta = \frac{P_{max}}{I \times A} \times 100\%$, dimana nilai P_{max} (daya maksimum) dan A (luas Permukaan Sel Surya) dapat dilihat pada spesifikasi panel surya.

Tabel 5. Data Perhitungan Daya

WAKTU	PENGUJIAN HARI KE					
	PERTAMA		KEDUA		KETIGA	
	Daya (W)	Efisiensi	Daya (W)	Efisiensi	Daya (W)	Efisiensi
12.00	89.9412	0.26149078	70.1974	0.31043979	116.311	0.21076681
12.15	95.166	0.24713442	84.966	0.25722154	97.6592	0.23514656
12.30	112.0432	0.21508286	69.488	0.31197662	96.9304	0.23691458
12.45	109.4976	0.21881694	70.4517	0.30967704	105.8064	0.22347262
13.00	104.3832	0.22833072	86.8082	0.26149078	101.0538	0.22587551
13.15	108	0.21881694	78.0996	0.28387062	97.016	0.23514656
13.30	110.33	0.21362467	75.9948	0.28907923	90.933	0.24713442
13.45	103.2956	0.22426789	70.5024	0.30891803	92.6184	0.24331767
14.00	75.7002	0.29586515	67.6764	0.31827918	79.9656	0.27046900
14.15	70.551	0.31352875	72.3008	0.30297730	89.356	0.25107282
14.30	56.2496	0.35806408	68.7876	0.31588611	90.831	0.24713442
14.45	53.238	0.33168041	66.5579	0.32400657	88.0308	0.25513878
15.00	55.0024	0.31989484	70.971	0.30741111	73.1724	0.29041142
15.15	46.028	0.34064475	55.809	0.32317578	68.0086	0.30152765
15.30	32.1816	0.47741877	36.1678	0.45337610	61.0134	0.31667979
15.45	53.4116	0.31667979	42.5944	0.42580593	56.4738	0.344367644
16.00	81.6898	0.27046900	40.1292	0.44379773	15.47	0.74140328

4.4. Analisa Hasil Data Hubungan Intensitas Cahaya, Temperatur Permukaan, dan Kapasitas Daya

Data tabel 6 berikut merupakan rangkuman data pengukuran dan perhitungan daya yang memiliki nilai arus dan daya yang berbeda pada nilai intensitas cahaya yang sama. Pada tabel diatas, terdapat nilai intensitas yang sama namun memiliki nilai temperatur dan daya yang berbeda di setiap hari pengujian yang berbeda. Pada nilai intensitas cahaya 623 W/m^2 memiliki nilai daya sebesar 68.7876 W saat temperatur 33.21°C di pengujian hari kedua serta memiliki daya 79.9656 W saat temperatur 30.11°C di pengujian hari ketiga dengan nilai intensitas cahaya yang sama. Hal tersebut juga terjadi pada beberapa titik nilai intensitas cahaya lain seperti yang dipaparkan pada tabel 4.7. diatas. Saat temperatur rendah, maka nilai daya yang dihasilkan akan lebih tinggi. Oleh karena itu, diperoleh bahwa besar nilai temperatur permukaan panel surya memiliki pengaruh terhadap daya keluaran panel surya. Berdasarkan tabel 4.7. diatas diperoleh pengaruh rata-rata perubahan daya untuk setiap peningkatan ataupun penurunan temperatur yaitu sebesar $2.42 \text{ W}/^\circ\text{C}$.

Tabel 6. Data Hubungan Intensitas Cahaya, Temperatur Permukaan, dan Kapasitas Daya Panel Surya

Intensitas Cahaya (W/m^2)	Data Temperatur ($^\circ\text{C}$) Hari Ke -			Data Daya (W) Hari ke-		
	1	2	3	1	2	3
202	29.91	20.41		81.6898	36.1678	
612		37.18	29.78		70.5024	73.1724
623		33.21	30.11		68.7876	79.9656
694		40.32	33.12		86.8082	97.016
754	35.18	39.28		75.7002	84.966	
767	39.17		41.08	103.2956		97.6592
796	42.79		40.51	104.3832		105.8064

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Pengujian tentang analisis pengaruh temperatur permukaan sel surya terhadap keluarannya pada tahun 2020 di Gedung Deli (P) Universitas Telkom :

1. Nilai temperatur pada panel surya dari pukul 12.00 hingga 16.00 mengalami penurunan dengan rata-rata penurunan sebesar 1.198°C setiap 15 menit atau penurunan sebesar $0.0799^\circ\text{C}/\text{menit}$;
2. Nilai arus pada panel surya dari pukul 12.00 hingga 16.00 mengalami penurunan dengan rata-rata penurunan sebesar 0.11791 A setiap 15 menit atau penurunan sebesar $0.00786 \text{ A}/\text{menit}$;
3. Nilai tegangan pada panel surya dari pukul 12.00 hingga 16.00 mengalami penurunan dengan rata-rata penurunan sebesar 0.305 V setiap 15 menit atau penurunan sebesar $0.0203 \text{ V}/\text{menit}$;
4. Nilai daya keluaran pada panel surya dari pukul 12.00 hingga 16.00 menunjukkan penurunan dengan rata-rata penurunan sebesar 2.8991 W setiap 15 menit atau setara $0.1932 \text{ W}/\text{menit}$;
5. Secara umum, besar kapasitas daya yang dihasilkan oleh panel surya bergantung pada nilai intensitas cahaya matahari;
6. Temperatur memiliki pengaruh terhadap besar kapasitas daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan pengaruh rata-rata sebesar $2.42 \text{ W}/^\circ\text{C}$. Semakin tinggi temperatur panel surya maka kapasitas daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya ialah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian dengan durasi yang lebih lama sehingga dapat dilihat nilai dari parameter sebelum pukul 12.00
2. Melakukan pengujian dengan menambahkan alat pendingin, sehingga memperoleh perbedaan suhu yang signifikan pada intensitas cahaya matahari secara aktual
3. Menambahkan data logger pada setiap sensor untuk memperoleh data yang lebih bagus

Daftar Pustaka

- [1] Website Resmi Dewan Energi Nasional : <https://den.go.id>, [diakses pada 26 Oktober 2019, 04:57 WIB]
- [2] LPPM Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG) Surabaya, “Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya”, November, 2015, Vol.1, No.02,
- [3] Hie Khwee, Kho. “Pengaruh Temperatur Terhadap Kapasitas Daya Panel Surya (Studi Kasus: Pontianak)” Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Oktober, 2013
- [4] A. Warsito, E. Adriono, M.Y. Nugroho, “Dipo PV Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur *Heatsink Fan* Pada Panel Surya (*Photovoltaic*) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan”, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2013
- [5] D. Suryana, M.M. Ali. Kementrian Perindustrian Baristand Industri, “Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin”, Surabaya, November, 2016
- [6] J.K Sumbodo, M.R. Kirom, P. Pangaribuan, “Efektifitas Pendingin Menggunakan Termoelektrik Pada Panel Surya”, Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, Desember, 2018
- [7] Muchammad, E. Yohana, “Pengaruh Suhu Permukaan *Photovoltaic Module* 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 0° , 50° , 60° , 70° , 80° ”, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Maret, 2012
- [8] Nurhadi, S. Hadi, P. Udianto, dan R.Abdillah, “Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Output Tegangan Solarcell Pengisi Baterai Kendaraan Listrik”, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, 2017
- [9] “Pengertian Panel Surya”, <https://www.solarcellsurya.com/pengertian-panel-surya/> [diakses pada 26 Oktober 2019, 13:03 WIB]
- [10] S. Yusmiati, Erliya, “*Energy Supply Solar Cell* Pada Sistem Pengendali Portal Parkir Otomatis Berbasis Mikrokontroler AT89S52”, M.S. Thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya, <http://eprints.polsri.ac.id/1109/3/BAB%20II.pdf> [diakses pada 26 Oktober 2019, 13:43 WIB]
- [11] Dickson Kho, “Sel Surya (Solar Cell) dan Prinsip Kerjanya”, dipublikasikan di teknikelektronika.com [diakses pada 26 Oktober 2019, 13:57 WIB]
- [12] S. Aprilia, dipublikasikan di [repository.ums.ac.id](http://repository.ums.ac.id/bitstream/handle/123456789/11154/BAB%20II%20PDF.pdf), <http://repository.ums.ac.id/bitstream/handle/123456789/11154/BAB%20II%20PDF.pdf>, [diakses pada 26 Oktober 2019, 14:03 WIB]
- [13] Andri, “Pengertian Energi Foton”, e-journal, <https://benergi.com/pengertian-energi-foton> [diakses pada 28 Oktober 2019, 21:53 WIB]
- [14] Siswoyo, Jurnal Penelitian : Pengembangan Pendidikan Fisika, vol. 1, no. 1, “Pemahaman Mahasiswa Tentang Efek Fotolistrik”, Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Juni, 2015
- [15] Eka Maulana, S.T., M.T., *Fisika Modern*, Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, 2012
- [16] Liana Safitri, “Matahari Sebagai Sumber Energi”, Universitas Jember, dipublikasikan di academia.edu [diakses pada 28 Oktober 2019, 22:23 WIB]
- [17] Bramantya, L.P. Yonando, M. Rifaldi, R. Oktavian, “Sintesis dan Karakterisasi Silika *Aerogel* Hidrofobik dan Oliofofik Dari Pasir Laut Sebagai Absorben Tumpahan Minyak”, Teknik Kimia, Universitas Brawijaya, Malang, 2018
- [18] E-journal, dipublikasikan di <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>, [diakses pada 28 Oktober 2019, 23:01 WIB]
- [19] Pahlevi, Reza. “Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya”, Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hlm 11-12, 2014
- [20] Wijaya, Zulnisyah Putra. “Perancangan Set Up Karakterisasi Panel Surya”, Tanjung Pinang: Universitas Maritim Raja Ali Haji. Hlm 7, 2015
- [21] Wibowo, Arymukti, Hadi Nasbey dan Satwiko Sidopekso. “Pengukuran I-V dengan Menggunakan Sun Simulator Sederhana”. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta. Hlm 80, 2011
- [22] Wulandari Hardini, “Performa Sel Surya”, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2008