

Perancangan Sistem Pompa Otomatis Untuk Pengaturan Suhu Permukaan Panel Surya Menggunakan *Phase Change Material*

Raja Harahap, Candra Fitriawan

Konsentrasi Teknik Energi, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Indonesia
harahaprj@yahoo.com ; candrafitriawan@gmail.com

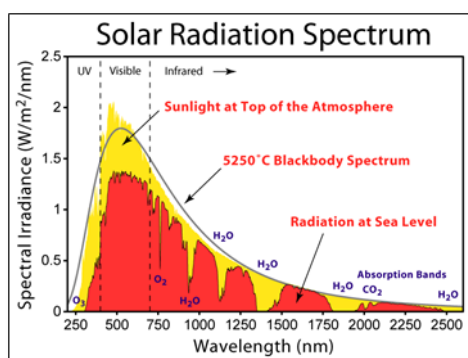
Abstrak

Energi listrik adalah energi yang paling dibutuhkan oleh manusia di seluruh dunia untuk kepentingan sehari-hari, Energi terbarukan dapat dimanfaatkan secara terus menerus dan tidak akan habis. Beberapa sumber energi terbarukan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga dan industri. Salah satu pemanfaatan yang paling banyak digunakan adalah energi surya, Akan tetapi penggunaan panel surya secara masif memiliki beberapa kekurangan yaitu panel surya harus beroperasi di kondisi standar, panel surya harus beroperasi pada nilai temperatur modul surya sebesar 25°C untuk mendapatkan efisiensi optimal sehingga dibutuhkan teknologi sistem pengaturan suhu panel surya. Pada penelitian ini penulis menggunakan teknologi *phase change material* sebagai material pendingin permukaan panel surya. Hasil penelitian menunjukkan material pendingin air dapat menurunkan suhu permukaan panel surya dengan maksimal laju perpindahan panas konveksi sebesar $5.789,69$ joule per detik dan peningkatan efisiensi panel surya yang terjadi sekitar $0,89\%$, sedangkan material pendingin *phase change material* dapat menurunkan suhu permukaan panel surya lebih besar dengan maksimal laju perpindahan panas konveksi sebesar $8.872,13$ joule per detik dan peningkatan efisiensi panel surya yang terjadi sekitar $1,37\%$.

Kata Kunci: Energi Surya, Temperatur, Efisiensi, *Phase Change Material*, Laju Perpindahan Panas

I. PENDAHULUAN

Energi surya adalah radiasi yang di produksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Matahari mensuplai hampir semua panas dan cahaya yang diterima bumi untuk digunakan makhluk hidup. Selain itu energi surya berjumlah besar dan bersifat kontinu terbesar yang tersedia di alam ini, khususnya energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari. Energi surya yang sampai ke bumi dalam bentuk paket energi disebut foton[11].



Gambar 1. Standar Spektrum Radiasi Surya

Gambar 1 menunjukkan semua radiasi elektromagnetik termasuk cahaya matahari mengandung foton yang dimana foton tersebut mengandung energi. Terdapat dua parameter dalam energi surya yang paling penting : pertama intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang

datang kepada permukaan per luas area, dan karakteristik spektrum cahaya matahari. Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi disebut konstanta surya, yaitu sebesar 1365 W/m^2 . Setelah disaring oleh atmosfer bumi, beberapa spektrum cahaya hilang, dan intensitas puncak radiasi menjadi sekitar 1000 W/m^2 [11].

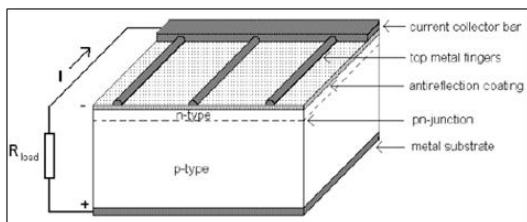
Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Jarak ini bervariasi pada tiap tahunnya antara $1,47 \times 10^8 \text{ km}$ dan $1,52 \times 10^8 \text{ km}$ dan hasil besar pancarannya E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi insolation yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi)[12].

Panel surya adalah teknologi yang dapat menghasilkan arus searah (*Direct Current*) dengan satuan daya Watt (W) atau kilo Watt (kW) dari bahan semikonduktor ketika bahan ini tersinari oleh foton. Panel surya adalah seperangkat alat dengan bahan semi konduktor yang dapat mengkonversi energi sinar matahari yang diterimanya menjadi energi listrik. Panel surya disebut juga *photovoltaic* dan terbuat dari bahan semi konduktor yang pada umumnya adalah *silicon*[13].

Panel surya dimanfaatkan sebagai alat untuk mengubah cahaya matahari yang mengandung

energi foton untuk diubah menjadi energi listrik. Panel surya bekerja berdasarkan prinsip *photovoltaic*, yaitu dengan cara mengubah energi foton dari radiasi cahaya matahari yang diterimanya menjadi energi listrik. Silikon terdiri atas 2 lapisan didalamnya, yaitu lapisan n(-) dan lapisan p(+). Lapisan n adalah lapisan yang berada di atas permukaan panel surya dan berhubungan langsung dengan cahaya matahari, sedangkan lapisan p berada dibawah lapisan n yang dipisahkan oleh sebuah gerbang (*junction*). Gerbang ini akan terbuka saat ada cahaya matahari menyinari permukaan panel surya. Terbukanya gerbang antar lapisan mengakibatkan elektron yang dihasilkan mengalir. Intensitas cahaya matahari sangatlah mempengaruhi terbukanya gerbang antar lapisan, semakin lebar gerbang antar lapisan terbuka karena intensitas cahaya matahari yang besar, maka semakin besar pula arus yang mengalir [12]

Prinsip dasar panel surya merupakan kebalikan dari LED (*Light Emitting Diode*) yang mengubah energi listrik menjadi cahaya atau boleh dikatakan identik dengan sebuah dioda cahaya p-n junction. Sel surya terdiri dari lapisan semikonduktor doping – n dan doping – p yang membentuk p – n junction, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe – n (elektron) dan tipe – p (hole). Seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Sel Surya p-n junction

Semikonduktor tipe – n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe – p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar, adapun jenis-jenis panel surya yaitu:

- *Monocrystalline*

Panel surya jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang sangat tipis. Dengan cara pembuatan seperti ini, akan dihasilkan lembaran panel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi panel surya yang paling efisien dibandingkan jenis panel surya lainnya yaitu sekitar 15% - 20%. Adapun *monocrystalline* dapat dilihat pada Gambar 2.3. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan dalam pembuatannya, menyebabkan mahalnya harga jenis panel surya ini

dibandingkan jenis panel surya yang lain di pasaran. Kelemahan dari panel surya jenis ini jika disusun membentuk modul akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena panel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam[13].

- *Polycrystalline*

Panel surya jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur dan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kristal silikonnya tidak sempurna pada panel surya *monocrystalline*, sehingga panel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, yaitu 13% - 16%[13]. Panel surya ini berbentuk persegi panjang, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong, tidak seperti susunan pada panel surya *monocrystalline*. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding *monocrystalline* sehingga harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini[3].

- *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Panel surya jenis ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Panel surya jenis ini berbentuk sangat tipis. Jenis ini dikenal juga dengan nama *Thin Film Photovoltaic (TFPV)*. Berdasarkan materialnya, panel surya ini digolongkan menjadi 3, yaitu: *Amorphous Silicon (a-Si)* Panel surya dengan bahan *Amorphous Silicon* ini awalnya banyak diterapkan pada perangkat kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan zaman, penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik pembuatannya yang disebut "*stacking*(susun lapis)", dimana beberapa lapis *Amorphous Silicon* ditumpuk membentuk panel surya dan akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%[3]. *Cadmium Telluride (CdTe)* Panel surya jenis ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari panel surya *Amorphous Silicon*, yaitu 9% - 11%[3]. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)* CIGS memiliki efisiensi tinggi paling dibandingkan dengan kedua jenis panel surya *thin film* yang lain, yaitu 10% - 12%. Selain itu panel surya jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya *Cadmium* seperti pada sel surya CdTe. Teknologi pembuatan panel surya *thin film* ini masih baru, masih banyak kemungkinan peningkatan di masa mendatang. Harga produksi yang murah serta bentuknya yang tipis, ringan dan fleksibel sehingga dapat dilekatkan pada berbagai bentuk permukaan[14].

Phase Change Material (PCM) adalah material yang mengubah karakteristik fisiknya saat menyerap atau melepaskan energi panas. Pemanfaatan perubahan fasa suatu material yang berupa perubahan fasa cair (liquid) dan padat (solid)[19]. PCM memiliki keunggulan yaitu tidak

tingginya fluktuasi temperatur saat charging dan discharging, memiliki temperatur yang fleksibel dalam penggunaannya dan densitas penyimpanan energinya tinggi.

Salah satu jenis PCM yang digunakan untuk panel surya adalah paraffin wax. Rendahnya konduktivitas termal mengakibatkan unjuk kerja termalnya juga rendah, maka perlu ada metode untuk meningkatkan kerja sistem. Metode yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan kerja sistem antara lain perluasan permukaan (extended surfaces), pemakaian beberapa PCM (multiple PCM), peningkatan konduktivitas termal PCM dengan menambahkan material berkonduktivitas termal tinggi, dan pengkapsulan PCM[20]. PCM berfungsi sebagai media penyimpanan panas yang efektif dalam alat tersebut. Material PCM yang digunakan umumnya yaitu paraffin wax, karena mempunyai sifat densitas yang tinggi (~ 200 kJ/kg), konduktivitas termalnya rendah (~ 0,2 W/m.°C) dan sifat termalnya stabil di bawah 500 °C.

Panel surya dimanfaatkan sebagai alat untuk mengubah cahaya matahari yang mengandung energi foton untuk diubah menjadi energi listrik. Panel surya bekerja berdasarkan prinsip photovoltaic, yaitu dengan cara mengubah energi foton dari radiasi cahaya matahari yang diterimanya menjadi energi listrik.

Pada penelitian ini penulis menggunakan panel surya dengan kapasitas 50 Wp sebagai objek penelitian, analisa hasil pada penelitian ini tidak memiliki metode dan kriteria formal sehingga hasil analisisnya bisa menjadi tidak konsisten dan rancu, maka dibutuhkan validasi hasil dari sumber ilmiah yang telah terverifikasi. adapun spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

<i>Electical Specification (STC)</i>	
Spesifikasi	Keterangan
Power	50 Wp
Efficiency	14%
Vmp	17,60 Volt
Imp	2,85 Ampere
<i>Electical Specification (STC)</i>	
Spesifikasi	Keterangan
Voc	22,50 Volt
Isc	3,04 Ampere
Maximum System Voltage (VDC)	1000 (TUV), 600 (UL)
Maximum Series Fuse Rating	15 Ampere
<i>Temperature Coefficient</i>	
Spesifikasi	Keterangan
Pmax Temperature Coefficient	- 0,30 %/°C
Voc Temperature Coefficient	- 0,44 %/°C
Isc Temperature Coefficient	+ 0,05 %/°C
Operating Temperature	- 40 °C s/d +85 °C
NOCT	45 ± 2
<i>Other Specifications</i>	
Weight	4.5 kg
Dimension Of Module	700 mm × 510 mm × 30 mm

Pompa air adalah alat untuk menggerakkan air dari tempat bertekanan rendah ke tempat bertekanan yang lebih tinggi. Pada dasarnya pompa air sama dengan motor DC pada umumnya, hanya saja sudah di-packing sedemikian rupa sehingga dapat digunakan di dalam air. Pada tugas akhir ini digunakan pompa air DC 12 volt untuk menyemprotkan air. Adapun pompa air 12 volt dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pompa Air

Untuk mengetahui kinerja pompa air terhadap kebutuhan sistem dapat dilihat pada spesifikasi pompa air. Adapun spesifikasi pompa air 12 volt dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Pompa Air

Spesifikasi	Keterangan
Type	WP/PH 1600
Volt	220-240 Volt
Frekuensi	50 Hz
Daya	16 watt
Kapasitas	1300 liter/ jam
Total head	1,3 meter
Panjang kabel	120 cm
Dimensi	8,5x5,5x10 cm

Prinsip kerja pompa air 12 volt ini dengan memutar impeler yang digerakkan oleh motor listrik untuk menciptakan energi kinetik. *Port intake* menyedot air, dan energi kinetik impeler berpindah ke air. Energi ini memaksa air masuk ke dalam tangki, di mana ia bersirkulasi ke filter tangki dan akhirnya kembali ke pompa.

II. METODOLOGI PENELITIAN

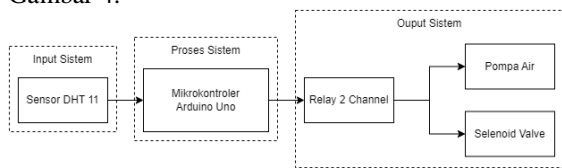
2.1 Pelaksanaan Penelitian

Waktu yang digunakan peneliti untuk penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal dikeluarkannya izin penelitian dalam kurun waktu kurang lebih 2 (dua) bulan, 1 bulan perancangan alat dan 1 bulan pengujian dan analisis hasil yang meliputi penyajian dalam bentuk skripsi dan proses bimbingan berlangsung. Penelitian ini akan dilaksanakan pada tanggal 22 Februari 2023 hingga tanggal 21 April 2023.

Lokasi penelitian yaitu dimana peneliti melakukan penelitian, terutama sekali dalam pengambilan data atau pengamatan objek yang diteliti dalam rangka mendapatkan data-data hasil penelitian. Pembuatan alat dilakukan di sekretariat UKM Robotik Sikonek Universitas Sumatera Utara dan Pengujian dilaksanakan di Jalan Mesjid Km 16,5 Dusun I Aman Damai kode pos 20351, Kecamatan Sunggal, Kabupatèn Deli Serdang.

2.2 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini akan membahas perancangan dari mulai input sistem yang akan dibangun seperti sensor sensor DHT11, mikrokontroler yang digunakan ialah arduino uno, dan output sistem ialah relay 2 channel, pompa air dan selenoid valve. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



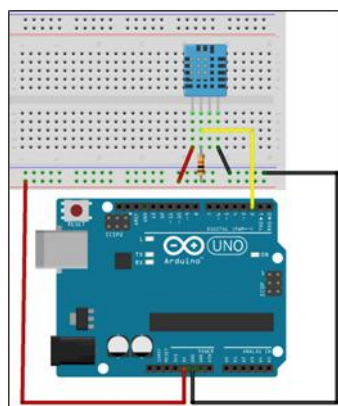
Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Mikrokontroler arduino uno akan memerintahkan sensor DHT11 untuk mengukur suhu permukaan panel surya, mikrokontroler arduino uno akan mengolah data suhu, bila sudah sesuai dengan parameter batas suhu yang diatur maka mikrokontroler arduino uno akan memerintahkan relay untuk *close circuit* sehingga pompa air dan selenoid valve akan aktif dan cairan *phase change material* akan mengalir.

2.3 Desain Sistem Kendali

1. Desain pemasangan sensor DHT11

Sensor DHT11 merupakan input pada sistem pengaturan suhu permukaan panel surya yang berfungsi untuk mengukur suhu panel surya dan akan diintegrasikan dengan mikrokontroler arduino uno.



Gambar 5. Rangkaian skematik sensor DHT11

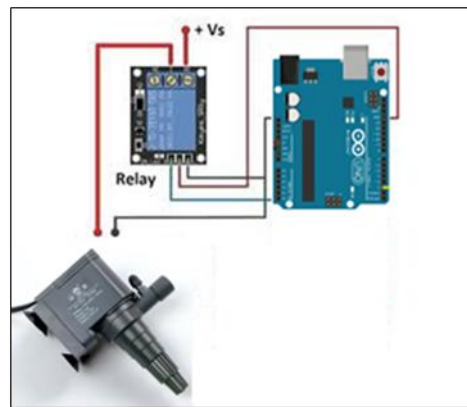
Gambar 5. Sensor DHT11 akan mengukur suhu permukaan panel surya dan mengirimkan

pembacaan sensor ke mikrokontroler arduino uno, jika sudah mencapai suhu parameter yang ditentukan maka mikrokontroler akan menjalankan output sistem

2. Desain pemasangan water pump

Water pump merupakan output pada sistem pengaturan suhu permukaan panel surya, *water pump* berfungsi untuk mengalirkan cairan yang telah terkonduksi oleh *phase change material*.

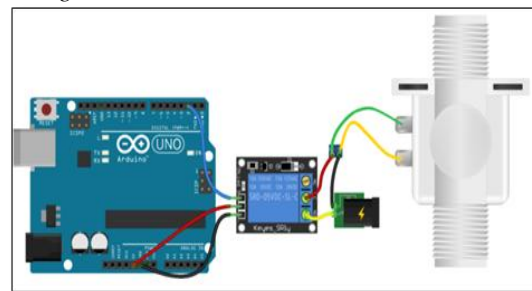
Gambar 6 jika suhu panel surya diatas parameter suhu yang ditentukan maka mikrokontroler akan memerintahkan *water pump* untuk aktif sehingga cairan dapat looping hingga suhu kembali normal.



Gambar 6. Rangkaian skematik pompa air 12 volt

3. Desain pemasangan selenoid valve

Selenoid valve merupakan output pada sistem pengaturan suhu permukaan panel surya yang berfungsi untuk menjadi gerbang pembatas cairan yang telah terkonduksi dengan *phase change material*.



Gambar 7. Rangkaian skematik selenoid valve

Setelah *water pump* non-aktif pada Gambar 7 maka mikrokontroler arduino uno akan memerintahkan selenoid valve untuk aktif sehingga cairan *phase change material* akan berada pada kondisi fakum.

2.4 Metode Analisa Data

Metode analisa data yang digunakan pada penelitian ini dengan melakukan perhitungan daya dan tegangan yang dibangkitkan pada panel surya berdasarkan data irradiasi matahari dan temperatur lingkungan di Kota Binjai. Penulis akan

menganalisa data temperatur, daya dan tegangan keluaran sel surya dilakukan dari jam 06.00 WIB – 18.00 WIB.

Parameter yang akan dihitung menggunakan persamaan daya listrik panel surya (1), faktor susut akibat perubahan temperatur (2) dan efisiensi panel surya (3). Adapun persamaan Daya Panel Surya seperti pada persamaan (1).

$$P_{PV} = P_{PV,STC} \times f_{PV} \times f_{temp} \left(\frac{I_T}{I_{T,STC}} \right)$$

Dimana, $P_{PV,STC}$ adalah kapasitas daya panel surya pada kondisi uji baku (kW), f_{PV} adalah faktor susut (%), I_T adalah radiasi matahari global yang mengenai permukaan panel surya (W/m^2), $I_{T,STC}$ adalah radiasi pada kondisi uji baku ($1000 W/m^2$), dan f_{temp} adalah faktor susut akibat perubahan temperatur(%). Faktor susut akibat perubahan temperatur diperlihatkan pada persamaan (2).

$$f_{temp} = [1 + \alpha_p \times (T_C - T_{C,STC})]$$

Dimana α_p adalah koefisien temperatur daya (-0,5 % / °C untuk *polycrystalline* dan -0,46 % / °C untuk *monocrystalline*), T_C adalah temperatur sel surya (°C), dan $T_{C,STC}$ adalah temperatur sel surya pada kondisi uji baku (25°C). Persamaan (3) merupakan rumusan untuk menghitung efisiensi panel surya.

$$\eta_c = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{A_c \times I_T}$$

Dimana, I_{mp} adalah arus yang dihasilkan panel surya (A), V_{mp} adalah tegangan yang dihasilkan panel surya (V), A_c adalah luas permukaan panel surya yang beroperasi (m^2) dan I_T adalah radiasi matahari global yang mengenai permukaan panel surya (W/m^2).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daya Keluaran Panel Surya Dengan Material Pendingin Air

Pada penelitian ini penulis telah mengumpulkan data tegangan dan data arus keluaran panel surya setelah menggunakan material pendingin air, data ini dibutuhkan untuk menganalisa daya keluaran panel surya. Adapun data tegangan dan arus dengan material pendingin air dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Tegangan Dan Arus Panel Surya Dengan Material Pendingin Air

Pukul	Sensor Tegangan (Volt)	Sensor Arus (Ampere)
08:00	11,374	0,514
09:00	14,552	1,039
10:00	16,323	1,506
11:00	16,981	1,881
12:00	17,534	2,098
13:00	17,436	2,098
14:00	16,982	1,899
15:00	16,474	1,654
16:00	15,823	1,242
17:00	12,762	0,936
18:00	10,036	0,483

Adapun tabulasi data hasil daya keluaran panel surya dengan menggunakan pendingin air pada Tabel 4.

Tabel 4.. Tabulasi Data Daya Keluaran Panel Surya Dengan Pendingin Air

Pukul	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
08:00	11,374	0,514	5,85
09:00	14,552	1,039	15,12
10:00	16,323	1,506	24,58
11:00	16,981	1,881	31,94
12:00	17,534	2,098	36,79
13:00	17,436	2,098	36,58
14:00	16,982	1,899	32,25
15:00	16,474	1,654	27,25
16:00	15,823	1,242	19,66
17:00	12,762	0,936	11,95
18:00	10,036	0,483	4,84

3.2 Daya Keluaran Panel Surya Dengan Material Pendingin PCM

Pada penelitian ini penulis telah mengumpulkan data tegangan dan data arus keluaran panel surya dengan material pendingin *phase change material*, data ini untuk menganalisa daya keluaran panel surya. Adapun data tegangan dan arus panel surya dengan material pendingin PCM dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Tegangan Dan Arus Panel Surya Dengan Material Pendingin PCM

Pukul	Sensor Tegangan (Volt)	Sensor Arus (Ampere)
08:00	11,792	0,513
09:00	15,112	1,035
10:00	16,942	1,501
11:00	17,635	1,874
12:00	18,227	2,090
13:00	18,114	2,091
14:00	17,642	1,892
15:00	17,127	1,648
16:00	16,364	1,238
17:00	13,287	0,933
18:00	10,354	0,481

Adapun tabulasi data hasil daya keluaran panel surya dengan menggunakan pendingin *phase change material* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabulasi Data Daya Keluaran Panel Surya Dengan Pendingin PCM

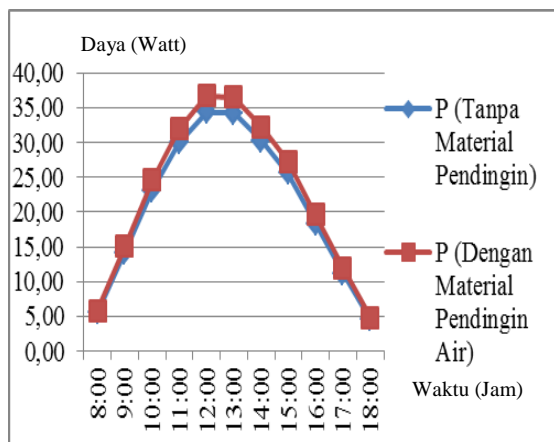
Pukul	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
08:00	11,792	0,513	6,04
09:00	15,112	1,035	15,64
10:00	16,942	1,501	25,43
11:00	17,635	1,874	33,03
12:00	18,227	2,090	38,10
13:00	18,114	2,091	37,87
14:00	17,642	1,892	33,38
15:00	17,127	1,648	28,23
16:00	16,364	1,238	20,26
17:00	13,287	0,933	12,39
18:00	10,354	0,481	4,98

3.3 Analisa Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya

Pada penelitian ini penulis akan menganalisa perbandingan daya keluaran panel surya tanpa material pendingin, dengan menggunakan material pendingin air dan dengan menggunakan material *pendingin phase change material*. Adapun analisa perbandingan daya panel surya dapat dilihat pada penjabaran berikut

Perbandingan daya keluaran panel surya tanpa material pendingin dan dengan penggunaan material pendingin air

Pada analisa ini penulis melakukan perbandingan daya panel surya dalam kondisi tanpa menggunakan material pendingin dan dengan menggunakan material pendingin air. Adapun hasil perbandingan daya keluaran panel surya dapat dilihat pada Gambar 8.

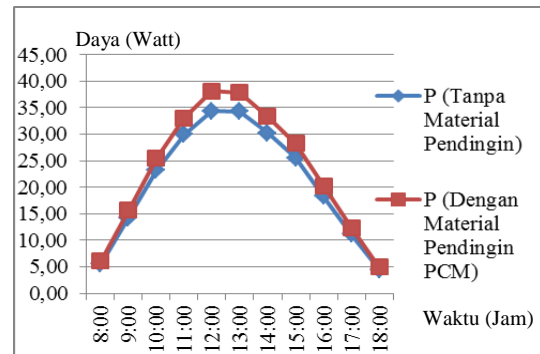


Gambar 1. Daya Tanpa Dan Dengan Material Pendingin Air Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil perbandingan daya keluaran panel surya tanpa menggunakan material pendingin dan dengan menggunakan material pendingin air, data yang dipaparkan menunjukkan rata rata daya keluaran panel surya tanpa material pendingin yaitu sekitar 21,03 Watt dengan maksimal daya keluaran sekitar 34,33 Watt pada pukul 12:00 WIB, sedangkan rata rata daya keluaran panel surya dengan menggunakan material pendingin air yaitu sekitar 22,44 Watt dengan maksimal daya keluaran sekitar 36,97 Watt pada pukul 12:00 WIB, terjadi peningkatan daya keluaran panel surya yaitu sekitar 6,29% setelah menggunakan material pendingin air.

3.4 Perbandingan daya keluaran panel surya

Pada analisa ini penulis melakukan perbandingan daya panel surya dalam kondisi tanpa menggunakan material pendingin dan dengan menggunakan material pendingin PCM. Adapun hasil perbandingan daya keluaran panel surya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 2. Daya Tanpa Dan Dengan Material Pendingin Phase Change Material Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil perbandingan daya keluaran panel surya tanpa menggunakan material pendingin dan dengan menggunakan material pendingin PCM, data yang dipaparkan menunjukkan rata rata daya keluaran panel surya tanpa material pendingin yaitu sekitar 21,03 Watt dengan maksimal daya keluaran sekitar 34,33 Watt pada pukul 12:00 WIB, sedangkan rata rata daya keluaran panel surya dengan menggunakan material pendingin PCM yaitu sekitar 23,22 Watt dengan maksimal daya keluaran sekitar 38,10 Watt pada pukul 12:00 WIB, terjadi peningkatan daya keluaran panel surya yaitu sekitar 9,43% setelah menggunakan material pendingin PCM.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisa menunjukkan material pendingin air dan *phase change material* dapat menurunkan suhu permukaan panel surya dengan masing masing laju perpindahan panas konveksi maksimal sekitar 5.789,69 joule per detik dan 8.872,13 joule per detik.
2. Hasil analisa menunjukkan terjadinya peningkatan efisiensi panel surya sekitar 1,37% setelah menggunakan material pendingin *phase change material*, sedangkan peningkatan efisiensi panel surya saat menggunakan material pendingin air yaitu sebesar 0,89%
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya tanpa sistem pendingin yaitu sekitar 21,03 Watt, daya keluaran panel surya dengan sistem pendingin air yaitu sekitar 22,44 Watt dan daya keluaran panel surya dengan sistem pendingin *phase changes material* yaitu sekitar 23,22 Watt. Terjadi peningkatan daya keluaran panel surya sebesar 9,43% setelah menggunakan *phase changes material*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Muchtar and R. Apriadi, "Implementasi Pengenalan Wajah Pada Sistem Penguncian Rumah Dengan Metode Template Matching Menggunakan Open Source Computer Vision Library (Opencv)," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 2, no. 1, pp. 39–42, 2019.
- [2] P. G. Chamdareno and H. Hilal, "Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTDPLTS di Pulau Tunda Serang Banten," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 1, no. 1, pp. 35–42, 2018.
- [3] P. G. Chamdareno, E. Nuryanto, and E. Dermawan, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) pada Kapal KM. Kelud," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 2, no. 1, pp. 59–64, 2019.
- [4] H. Isyanto and D. Arsito, "Sistem Pengaman Rumah dan Peringatan Dini Kebakaran Berbasis SMS dengan Menggunakan Raspberry Pi," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 1, no. 1, pp. 13–24, 2018.
- [5] S. Sriyono and B. Budiyo, "Studi Penggunaan DC Nanogrid dengan Sumber Photovoltaic pada Beban Bertegangan dibawah Dua Puluhan Empat Volt," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [6] F. Fadlioni, P. G. Chamdareno, and H. Isyanto, "Perbandingan Pemahaman tentang Instalasi Listrik Rumah Tinggal antara Sebelum dan Sesudah Mengikuti Pelatihan," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018.
- [7] H. Muchtar and R. Sumanjaya, "Control Switch Otomatis pada Tegangan Energi Alternatif dan Tegangan Sumber PLN Menggunakan Raspberry Pi," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [8] Afriyani, A. D., Prasetya, S., & Filzi, R. "Analisis Pengaruh Posisi Panel Surya terhadap Daya yang dihasilkan di PT Lentera Bumi Nusantara". *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2019, pp. 176–183.
- [9] Arifin, Z., Suyitno, S., Danardono, D., & Prija, D. "applied sciences The Effect of Heat Sink Properties on Solar Cell Cooling Systems". 2020.
- [10] Taqwa, A., Dewi, T., Kusumanto, R. D., Sitompul, C. R., & Rusdianasari. "Automatic Cooling of a PV System to Overcome Overheated PV Surface in Palembang". *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, pp. 0–10.
- [11] A. H. A. Al-Waeli et al., "Comparison study of indoor/outdoor experiments of a photovoltaic thermal PV/T system containing SiC nanofluid as a coolant," *Energy*, vol. 151, pp. 33–44, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.03.040.
- [12] P. Dwivedi, K. Sudhakar, A. Soni, E. Solomin, and I. Kirpichnikova, "Advanced cooling techniques of P.V. modules: A state of art," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 21, no. June, p. 100674, 2020.
- [13] A. K. Suresh, S. Khurana, G. Nandan, G. Dwivedi, and S. Kumar, "Role on nanofluids in cooling solar photovoltaic cell to enhance overall efficiency," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 9, pp. 20614–20620, 2018.
- [14] Shukla, A., Kant, K., Sharma, A., & Biwole, P. H. "Cooling methodologies of photovoltaic module for enhancing electrical efficiency: A review". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 160, 2017, Pp. 275–286.
- [15] Zilli, B. M., Lenz, A. M., de Souza, S. N. M., Secco, D., Nogueira, C. E. C., Junior, O. H. A., Nadaleti, W. C., Siqueira, J. A. C., & Gurgacz, F. "Performance and effect of water-cooling on a microgeneration system of photovoltaic solar energy in Paraná Brazil". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 192, 2018, pp. 477–485.
- [16] Nižetić, S., Giama, E., & Papadopoulos, A. M. "Comprehensive analysis and general economic-environmental evaluation of cooling techniques for photovoltaic panels, Part II: Active cooling techniques". *Energy Conversion and Management*, Vol. 155, 2018, pp. 301–323.
- [17] D.G. Subhedar, B.M. Ramani, A. Gupta, "Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant", *Case Stud. Therm. Eng.* Vol. 11, 2018, pp 26–34.
- [18] Ramadhan, A. I., Azmi, W. H., Mamat, R., Hamid, K. A., & Norsakinah, S. "Investigation on stability of tri-hybrid nanofluids in water-ethylene glycol mixture. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering", *IOP Publishing*, Vol. 469, No. 1, 2019.
- [19] G.S. Sokhal, D. Gangacharyulu, V.K. Bulasara. "Heat transfer and pressure drop performance of alumina–water nanofluid in a flat vertical tube of a radiator", *Chem. Eng. Commun.* Vol. 205, pp. 257–268, 2018.
- [20] Shukla, A., Kant, K., Sharma, A., & Biwole, P. H. "Cooling methodologies of photovoltaic module for enhancing electrical efficiency: A review". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 160, 2017, pp. 275–286.

- [21] B. Alexandre, J. Jakub, “Complementarity of Variable Renewable Energy Sources”, 1st ed. New Delhi : Elsevier Science, 2022, pp. 24-27.
- [22] W. Roland, B. Thomas, “Renewable Energy: Sustainable Energy Concepts for the Future”, 1st ed. Germany : Wiley Publishing, 2011, pp. 103-112.