

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN PANEL SURYA
DENGAN METODE *SPLASH FILL COOLING WATER***



SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Pendidikan
pada Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Oleh:

AMIRUL IKHWAN

442 19 024

ANDI MUHAMMAD MUGHNY ANUGERAH

442 19 025

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya dengan Metode *Splash Fill Cooling Water*" oleh Amirul Ikhwan NIM 442 19 024 dan Andi Muhammad Mughny Anugerah NIM 442 19 025 dinyatakan layak untuk diterima.

Makassar, 19 September 2023

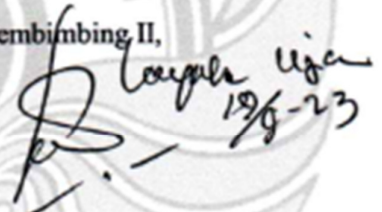
Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Ir. Herman Nauwir., M.T.
NIP 19580606 198903 1 001



Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP 19601231 199003 1 021

Mengetahui, Koordinator

Program Studi Teknik

Pembangkit Energi



Ir. Chandra Bhuana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, 25 , September 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Amirul Ikhwan NIM 442 19 024 dan Andi Muhammad Mughny Anugerah NIM 442 19 025 dengan judul "Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya dengan Metode *Splash Fill Cooling Water*".

Makassar, 25 September 2023

Tim Penguji Ujian Skripsi:

1. Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. Ketua ()
2. Prof. Dr. Ir. Firman, M.T. Sekretaris ()
3. Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D. Anggota ()
4. Sukma Abadi, S.T., M.T. Anggota ()
5. Ir. Herman Nauwir., M.T. Pembimbing I ()
6. Ir. La Ode Musa, M.T. Pembimbing II ()

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Amirul Ikhwan

NIM : 442 19 024

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya dengan Metode *Splash Fill Cooling Water*” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 25 September 2023



Amirul Ikhwan
NIM 442 19 024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andi Muhammad Mughny Anugerah

NIM : 442 19 025

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya dengan Metode *Splash Fill Cooling Water*” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 25 September 2023



Andi Muhammad Mughny Anugerah
NIM 442 19 025

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan rahmat karunia-Nya, penulisan proposal seminar ini berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya dengan Metode *Splash Fill Cooling Water*” dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta insiparasi kepada kami untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudara kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
3. Bapak Ir Ilyas Mansyur, M.T. selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Ir. Herman Nawir, M.T. selaku wali kelas.
7. Bapak Ir. Herman Nawir, M.T. sebagai pembimbing I dan Bapak Ir. La Ode Musa, M.T. sebagai pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan pikirannya untuk memberikan arahan dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik pembangkit Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas sarana dan mengerjakan proposal ini.
9. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah menjadi saudara-saudariku serta banyak memberikan motivasi, bantuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
10. Terima kasih kepada kedua orang tua penulis yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan dan doa kepada kami.

Penulis menyadari bahwa proposal seminar ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifat membangun untuk perbaikan di masa mendatang, akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Makassar,

2023

Penulis

RINGKASAN

Efisiensi panel surya akan berkurang apabila temperatur pada panel surya itu meningkat. Temperatur normal atau temperatur operasi yang dianggap ideal untuk panel surya yaitu pada temperatur 25°C. Adapun setiap kenaikan temperatur sebesar 10°C dari temperatur normal (pada 25°C) mengakibatkan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang sekitar 0,4% pada total produksi listrik yang dapat dihasilkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menjaga temperatur panel surya agar tetap dalam kondisi optimal sehingga dapat menghasilkan daya output panel yang maksimal.

Metode teknik pendingin panel surya ini yaitu merancang sistem pendingin panel surya dengan metode *splash fill cooling water*, di mana air digunakan sebagai sistem pendingin untuk mengendalikan suhu panel surya saat terpapar sinar matahari dan menggunakan komponen *splash fill* untuk mendinginkan air yang telah digunakan pada panel dengan cara memecah air menjadi butiran-butiran kecil sebelum digunakan kembali untuk mendinginkan panel. Digunakan sensor suhu DS18B20 untuk membaca suhu dari panel surya dan bak penampungan air, dan sebuah mikrokontroler untuk mengontrol pompa berdasarkan *setting* sensor temperatur panel. Serta sebuah sensor tegangan, arus, untuk membaca jumlah tegangan dan arus output pada panel, dan sebuah sensor *microSD card* sebagai perekam data hasil pembacaan semua sensor.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan 2 panel surya *Polycrystalline* 100WP. Sebuah panel surya dengan menggunakan sistem pendingin dan sebuah panel surya tanpa menggunakan sistem pendingin. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa dengan menambahkan sistem pendingin diperoleh penurunan temperatur rata-rata panel surya sebesar 19,99°C (35,43%) dan peningkatan efisiensi rata-rata sebesar 3,30%. Sedangkan untuk daya output diperoleh peningkatan rata-rata antara 28,13 W.

Kata kunci: Efisiensi, *Splash fill*, Mikrokontroler, Data *Logger*.

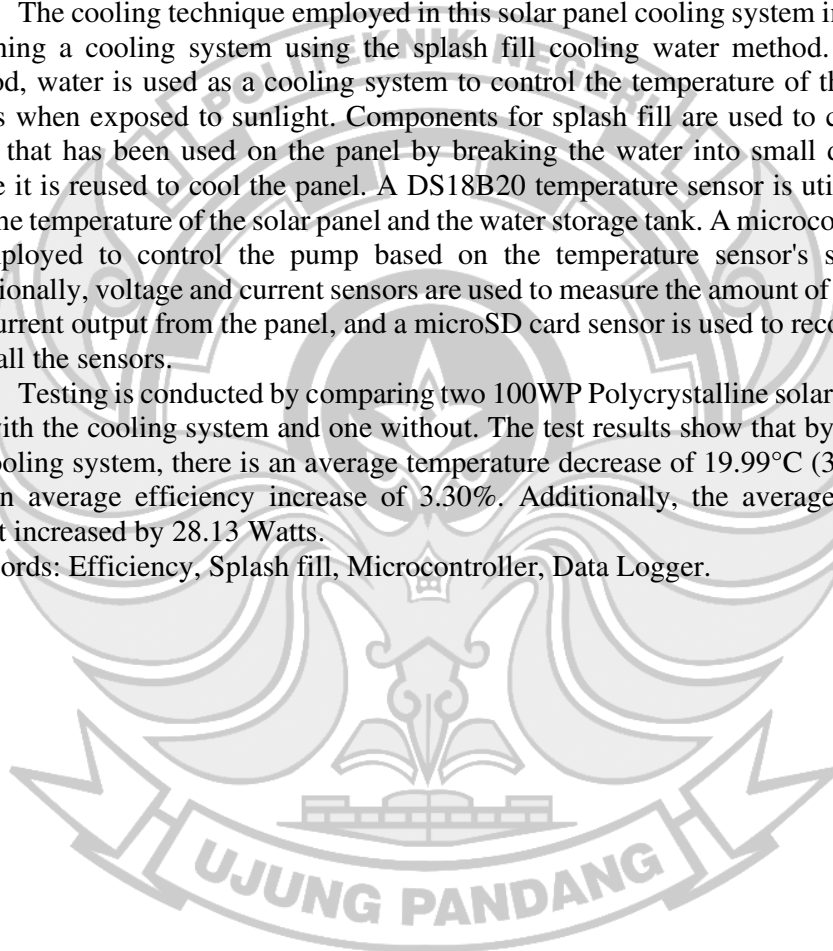
SUMMARY

The efficiency of solar panels decreases as the temperature of the solar panel rises. The normal or ideal operating temperature for solar panels is around 25°C. Each increase of 10°C from the normal temperature (at 25°C) results in a reduction of approximately 0.4% in the total electrical production that can be generated by the solar panel. The objective of this research is to maintain the temperature of the solar panels at an optimal level to ensure maximum power output from the panels.

The cooling technique employed in this solar panel cooling system involves designing a cooling system using the splash fill cooling water method. In this method, water is used as a cooling system to control the temperature of the solar panels when exposed to sunlight. Components for splash fill are used to cool the water that has been used on the panel by breaking the water into small droplets before it is reused to cool the panel. A DS18B20 temperature sensor is utilized to read the temperature of the solar panel and the water storage tank. A microcontroller is employed to control the pump based on the temperature sensor's settings. Additionally, voltage and current sensors are used to measure the amount of voltage and current output from the panel, and a microSD card sensor is used to record data from all the sensors.

Testing is conducted by comparing two 100WP Polycrystalline solar panels: one with the cooling system and one without. The test results show that by adding the cooling system, there is an average temperature decrease of 19.99°C (35.43%) and an average efficiency increase of 3.30%. Additionally, the average power output increased by 28.13 Watts.

Keywords: Efficiency, Splash fill, Microcontroller, Data Logger.



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	I
HALAMAN PENERIMAAN	II
SURAT PERNYATAAN	III
SURAT PERNYATAAN	IV
KATA PENGANTAR	V
RINGKASAN	VI
SUMMARY	VII
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR	XII
DAFTAR TABEL	XIV
DAFTAR SIMBOL	XV
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	5
2.1.1 Panel Surya (PV)	5
2.1.2 <i>Solar Charger Controller (SCC)</i>	7
2.1.3 Baterai.....	8
2.2 Penelitian Terdahulu.....	9
2.3 Prinsip Kerja Panel Surya.....	10
2.4 Faktor-Faktor Pengaruh Daya <i>Output</i> pada Panel Surya.....	11
2.4.1 Intensitas Cahaya Matahari	11
2.4.2 Temperatur Sel Surya	12
2.4.3 Kondisi Cuaca	12
2.4.4 Orientasi Panel Surya	13

2.4.5	Bayangan/ <i>Shading</i>	13
2.4.6	Kebersihan Panel Surya.....	13
2.5	Karakteristik Panel Surya	14
2.5.1	Karakteristik kurva I-V Terhadap Perubahan <i>Irradiance</i> dan Temperatur.....	14
2.5.2	Karakteristik Kurva I-V Terhadap Daya	15
2.6	Rumus Teoritis Kinerja Panel Surya	17
2.6.1	Daya <i>Input</i>	17
2.6.2	Daya <i>Output</i>	18
2.6.3	Efisiensi Panel Surya.....	18
2.7	Teknik Pendinginan Panel Surya.....	19
2.8	<i>Splash Fill</i>	21
2.9	Perpindahan Panas	22
2.9.1	Konduksi.....	22
2.9.2	Konveksi.....	22
2.9.3	Radiasi	22
2.10	Mikrokontroler.....	23
2.10.1	Arduino NANO	24
2.11	<i>Software</i> Arduino IDE	25
2.12	Data <i>Logger</i>	27
2.13	Sensor Suhu DS18B20	27
2.14	Sensor Tegangan DC	28
2.15	Sensor Arus.....	29
2.16	Modul RTC DS3231.....	30
2.17	Modul Mikro SD	31
2.18	<i>Relay</i> Modul.....	32
2.19	Water Pump	33
2.20	Liquid Cristal Display (LCD).....	34
2.21	Modul I2C.....	35
BAB 3	METODE PENELITIAN	37
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	37

3.2	Teknik Penelitian.....	37
3.3	Alat dan Bahan	37
3.3.1	Alat	38
3.3.2	Bahan	39
3.4	Prosedur Kerja	40
3.5	Tahap Perancangan.....	41
3.5.1	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	41
3.5.2	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	44
3.6	Tahap Pembuatan dan Perakitan.....	51
3.6.1	Rangka Panel Surya.....	51
3.6.2	Rangkaian untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	52
3.6.3	Rangkaian untuk Bak Penampungan.....	53
3.7	Prosedur Pengujian	53
3.8	Parameter yang diukur.....	54
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		55
4.1	Hasil Rancangan Sistem Pendingin Menggunakan <i>Splash Fill Cooling Water</i>	55
4.2	Hasil Penelitian.....	56
4.3	Analisa Data.....	56
4.3.1	Perhitungan Data Panel Surya	56
4.3.2	Perhitungan Efisiensi.....	56
4.3.3	Perpindahan Panas	59
4.3.4	Perhitungan Energi <i>Output</i> (Wh).....	60
4.3.5	Persentase penurunan Temperatur.....	62
4.3.6	Persentase Peningkatan Daya <i>output</i> , dan Efisiensi	62
4.4	Grafik dan Pembahasan	64
4.4.1	Pengujian pada tanggal 28 Agustus 2023.....	64
4.4.2	Pengujian pada tanggal 29 Agustus 2023.....	69
BAB 5 PENUTUP.....		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	76

DAFTAR PUSTAKA 77

LAMPIRAN..... 79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya <i>Poly-Crystalline</i> 100WP	5
Gambar 2.2 <i>Solar Charger Controller</i>	7
Gambar 2.3 Baterai 7,5 Ah	8
Gambar 2.4 Skema Kerja Panel Surya	11
Gambar 2.5 Kurva Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Arus dan Tegangan	12
Gambar 2.6 Karakteristik Hubungan arus dan tegangan terhadap variasi Radiasi dan Temperatur	14
Gambar 2.7 Kurva MPP Sel Surya	16
Gambar 2.8 <i>Splash Fill</i>	21
Gambar 2.9 Arduino NANO tampak Depan	24
Gambar 2.10 <i>Software</i> Arduino IDE	26
Gambar 2.11 Sensor DS18B20	28
Gambar 2.12 Sensor Tegangan DV	29
Gambar 2.13 Sensor Arus ACS712	30
Gambar 2.14 Modul RTC DS3231	31
Gambar 2.15 Modul Mikro SD	32
Gambar 2.16 Kondisi <i>Relay</i> saat NO dan NC	32
Gambar 2.17 <i>Relay</i> 1 Channel	33
Gambar 2.18 <i>Water Pump</i> DC	34
Gambar 2.19 LCD <i>Display</i> 20x4	35
Gambar 2.20 Modul I2C	36
Gambar 3.1 Diagram Flowchart	40
Gambar 3.2 Perancangan Struktur Kerangka (a) Panel, (b)Bak penampung air ..	42
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Mikrokontroler pada Panel Surya Menggunakan Sistem Pendingin Berbasis Arduino	44
Gambar 3.4 Flowchar Kontrol Suhu	45
Gambar 3.5 Skema Pengujian Panel Surya Dengan Sistem Pendingin	46
Gambar 3.6 Skema Rangkaian Mikrokontroler pada Panel Surya Tanpa Menggunakan Sistem Pendingin Berbasis Arduino	47

Gambar 3.7 Skema Pengujian Panel Surya Tanpa Sistem Pendingin.....	48
Gambar 4.1 Konstruksi Penelitian	55
Gambar 4.2 Letak Pompa dan Bak Pendingin pada konstruksi panel yang menggunakan pendingin.....	55
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Waktu terhadap Temperatur Permukaan.....	64
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tegangan <i>Output</i> Panel Surya terhadap Waktu ...	65
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Arus <i>Output</i> Panel Surya terhadap Waktu	66
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Daya <i>Output</i> terhadap Waktu.....	67
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Efisiensi Panel Surya terhadap Waktu	68
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Waktu terhadap Temperatur Permukaan.....	69
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Tegangan <i>Output</i> Panel Surya terhadap Waktu ...	70
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Arus <i>Output</i> Panel terhadap Waktu.....	71
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Daya <i>Output</i> terhadap Waktu.....	72
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Efisiensi Panel Surya terhadap Waktu	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya 100 WP.....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi Baterai 7,5 Ah.....	8
Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino NANO.....	25
Tabel 2.4 Spesifikasi Modul <i>Relay 1 Channel</i>	33
Tabel 2.5 Spesifikasi LCD <i>Display 20x4</i>	35
Tabel 3.1 Daftar Alat.....	38
Tabel 3.2 Daftar Bahan.....	39
Tabel 3.3 Parameter yang Diukur.....	54



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
G	Watt/m ²	Intensitas Radiasi Matahari
A	m ²	Luas Permukaan Panel
V	Volt	Tegangan
I	Ampere	Arus
P _{in}	Watt	Daya <i>Input</i>
P _{out}	Watt	Daya <i>Output</i>
η	%	Efisiensi
Q	J	Perpindahan Panas
C	J/kg°C	Kapasitas Kalor Air
\dot{m}	kg/s	Laju Aliran Air
T	°C	Temperatur

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara yang berada di garis khatulistiwa mendapat sinar matahari sepanjang tahun sehingga berpotensi memperoleh energi surya yang cukup besar. Teknologi photovoltaic (PV) atau yang dikenal dengan panel surya mampu mengonversi energi surya menjadi energi listrik. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni 4,8 kWh/m² (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012). Selama pengoperasian panel surya, hanya sekitar 15% dari radiasi matahari dikonversi menjadi listrik dan sisanya diubah menjadi panas (Widodo dkk., 2014).

Menurut Dahliyah dkk. (2021), beberapa faktor mempengaruhi efisiensi panel surya, salah satunya adalah suhu pada modul panel surya. Penelitian pada Laksana dkk. (2022) menyelidiki pengaruh panas pada panel surya berdasarkan sifat listrik dari silikon monokristalin dan polikristalin. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah efisiensi pada panel surya menurun disebabkan oleh kenaikan suhu lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu mekanisme pendinginan pada sistem panel surya untuk dapat meningkatkan efisiensi panel surya.

Berbagai macam mekanisme pendinginan pada sistem panel surya telah dilakukan. Metode pendinginan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi metode aktif yakni pendinginan yang membutuhkan energi untuk bekerja dan metode pasif yakni pendinginan yang tidak membutuhkan energi untuk bekerja. Beberapa media

yang dapat digunakan sebagai pendingin yakni udara dan air. Alat yang digunakan dapat berupa pipa peniup udara dan pipa penyemprot air (Saputra dkk., 2022).

Pendinginan pasif dengan udara memberikan efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan pendinginan dengan air karena media air pendinginan dengan media air dapat meningkatkan unjuk kerja panel surya mencapai 10% hingga 20% (Laksana dkk. (2022).

Sistem pendinginan panel surya pada Loegimin dkk. (2013) menggunakan penyemprot air ke permukaan permukaan panel dengan memakai pompa dan sistem kontrol. Sistem pendinginan dengan media air juga dilakukan pada Almanda dkk. (2020), Janna dan Djoko Adi Widodo (2021) dan. Penelitian tentang sistem pendingin menggunakan udara pada Widodo dkk. (2014) dilakukan dengan media plat, sirip atau heatsink aluminium untuk melewatkan udara yang dipasang di bawah modul sel surya. Sistem pendinginan media heatsink juga dilakukan pada Pawawoi dan Zulfahmu (2019).

Adanya hal ini mendasari dan membuat kami tertarik untuk merancang sebuah alat pendingin air dimana panas dari air yang telah digunakan untuk mendinginkan panel dapat diekstraksi dengan memanfaatkan hembusan angin yang akan mendinginkan butiran air dengan menggunakan komponen *splash fill*. Komponen ini akan memantulkan air keluaran panel kebeberapa tingkat yang akibatnya akan membuka pori-pori air tersebut dan membuatnya menjadi butiran-butiran air sehingga air yang sampai di bak penampungan nantinya sudah mengalami penurunan suhu dari sebelumnya. Air yang suhunya sudah diturunkan tersebut akan disemprotkan kembali ke permukaan panel guna meredam suhu panel

sekaligus membuat panel tetap pada set *point* suhu yang telah ditetapkan guna mendapatkan efisiensi terbaik pada panel surya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang suatu pembangkit listrik tenaga surya menggunakan teknik *splash cooling water*?
- 2) Bagaimana mengetahui efektifitas alat yang dirancang terhadap pengaruh kenaikan suhu untuk menghasilkan daya *output* yang maksimal?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini difokuskan pada bagaimana komponen *splash fill* dapat mendinginkan air keluaran panel sebelum sampai ke bak penampungan. Dimana nantinya air yang suhunya sudah turun tersebut akan disemprotkan kembali ke permukaan panel guna menjaga suhu panel surya tetap rendah agar menghasilkan efisiensi panel yang terbaik.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

- 1) Merancang suatu pembangkit listrik tenaga surya menggunakan teknik *splash fill cooling water*.
- 2) Mengetahui efektifitas alat yang dirancang terhadap pengaruh kenaikan suhu untuk menghasilkan daya *output* yang maksimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Sebagai pembelajaran dalam pengambilan data dan menganalisis panel surya
- 2) Sebagai bahan acuan bagi para peneliti pengguna panel surya dalam mengkonversi energi surya menjadi energi listrik.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.1.1 Panel Surya (PV)

Panel surya merupakan salah satu alat yang dikembangkan oleh ilmuwan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi 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 terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silikon atau germanium yang memiliki daya absorpsi panas yang lebih baik dibandingkan dengan material lainnya. Sel surya ini membutuhkan cahaya yang berasal dari radiasi matahari yang membawa energi foton untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Panel Surya *Poly-Crystalline* 100WP
(Sumber: <https://multidayaelectric.com>)

Panel surya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik berdasarkan prinsip efek *Photovoltaic*. Yang dimaksud dengan efek *Photovoltaic* adalah suatu fenomena munculnya tegangan listrik sebab adanya hubungan atau

kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cair saat mendapat sinar matahari. Oleh karena itu, sel surya atau *colar cell* biasa juga disebut dengan *Photovoltaic Cell (PV)*. Hal yang mempengaruhi kinerja Photovoltaic yang berbahan silikon adalah temperatur dan intensitas matahari yang masuk ke sel surya.

Dalam beberapa tahun terakhir, sumber energi listrik terbarukan sangat dianjurkan. Salah satu sumber energi listrik terbarukan yang populer saat ini yaitu pembangkit listrik tenaga surya. Dengan memanfaatkan sel photovoltaic pada panel surya maka cahaya matahari akan dikonversi langsung menjadi energi listrik. Namun pada saat pengoperasian, panel surya hanya dapat mengkonversi sekitar 15% dari radiasi matahari dan sisanya akan terkoversi menjadi panas, yang mengakibatkan penurunan efisiensi panel surya ketika temperatur meningkat (Widodo dkk., 2015).

Berikut ini adalah spesifikasi panel surya 100 WP yang digunakan.

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya 100 WP

Spesifikasi	Keterangan
<i>Rated Maximum Power</i>	100W
<i>Voltage at Pmax (V_{mp})</i>	18V
<i>Current at Pmax (I_{mp})</i>	5,56A
<i>Open-Circuit Voltage (V_{oc})</i>	22,5V
<i>Short-Circuit Voltage (I_{sc})</i>	5,87A
<i>Maximum System Voltage</i>	1000 VDC
<i>Maximum Series Fuse</i>	12A
<i>Operating Cell Temp</i>	-40°C - +85°C
<i>Weight</i>	7 Kg
<i>Dimensions</i>	1030*670*30mm

2.1.2 *Solar Charger Controller (SCC)*

Pengontrol pengisian daya surya atau *Solar Charge Controller (SCC)* merupakan salah satu komponen yang berfungsi sebagai sistem proteksi dalam pengisian baterai yang berlebihan dengan membatasi jumlah dan laju pengisian daya ke baterai. *Solar Charge Controller (SCC)* juga berfungsi mencegah baterai dalam keadaan *Over Discharge* atau baterai dalam keadaan lemah. Dimana, apabila baterai dalam kondisi lemah atau tegangannya turun terlalu rendah, SCC akan menghentikan aliran listrik ke beban. Ini penting, kerana baterai akan cepat rusak apabila baterai dalam kondisi tegangan sangat rendah.

Untuk cara menggunakan SCC yaitu arus listrik dari panel surya langsung di sambungkan ke SCC. Selanjutnya, jika menggunakan sistem *On-Grid* maka dari SCC langsung ke inverter dan dari inverter ke jaringan listrik yang ada di rumah. Namun, jika menggunakan sistem *Off-Grid* maka arus dari SCC perlu disambungkan ke baterai.



Gambar 2.2 *Solar Charger Controller*
(Sumber: <https://visero.co.id>)

2.1.3 Baterai

Baterai merupakan salah satu komponen utama pada pembangkit listrik tenaga surya yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dari panel surya saat siang hari. Dan akan digunakan kembali untuk menyuplai listrik ke beban saat malam hari, cuaca mendung atau berawan. Dalam sistem PLTS *off grid*, baterai *solar cell* merupakan komponen yang sangat penting karena dengan adanya baterai, maka PLTS bisa menyuplai listrik pada saat malam hari.



Gambar 2.3 Baterai 7,5 Ah
(Sumber: <https://www.tokopedia.com>)

Berikut ini adalah spesifikasi Baterai 7,5 Ah yang digunakan.

Tabel 2.2 Spesifikasi Baterai 7,5 Ah

Spesifikasi	Keterangan
Voltage (V)	12V
Capacity	7,5 Ah
Weight (Kg)	2,5 kg
Dimensions	151*65*94mm

2.2 Penelitian Terdahulu

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya dalam usaha untuk meningkatkan efisiensi panel surya tersebut. Umumnya, penurunan temperatur dilakukan dengan menggunakan udara atau air sebagai media pendingin.

Pawawoi dan Zulfahmu (2019) melakukan penelitian tentang Penambahan Sistem Pendingin *Heatsink* untuk Optimasi Penggunaan Reflektor pada Panel Surya. Dalam penelitian ini menyebutkan bahwa Setiap penurunan temperatur sebesar 1°C pada photovoltaik yang dilengkapi reflektor dan sistem pendingin *Heatsink* akan meningkatkan daya *ouput* sebesar 10,14% terhadap photovoltaik dengan reflektor tanpa sistem pendingin.

Janna dan Djoko Adi Widodo (2021) melakukan penelitian tentang Analisis Karakteristik Modul Panel Surya dengan Sistem Pendingin Air. Dalam penelitian ini menyebutkan bahwa Karakteristik modul panel surya menggunakan sistem pendingin air mengalami peningkatan dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Sistem pendinginan 2 menit sekali menghasilkan nilai karakteristik paling tinggi dengan tegangan mencapai 65,2 V, arus 11,4 A, daya keluaran 665,75 W, efisiensi 15% dan suhu modul fotovoltaik $30\text{-}38^{\circ}\text{C}$. Sistem pendinginan 2 menit sekali karena mampu meningkatkan daya keluaran hingga 35% dengan biaya instalasi sistem pendinginan ini sebesar Rp 62.800,- per modul dikarenakan semakin banyak modul panel surya yang didinginkan akan membuat biaya instalasinya semakin murah. Estimasi konsumsi daya pompa yang digunakan untuk

menjalankan sistem pendinginan juga tidak lebih besar daripada peningkatan daya yang dihasilkan.

Hariyanto (2021). melakukan penelitian tentang Rancang Bangun *Reflector* untuk Mengoptimalkan Daya Serap Matahari Pada Panel Surya dengan Variasi Sudut Guna Menghasilkan Daya Optimal. Dan menyebutkan dalam penelitiannya bahwa penambahan radiasi oleh *reflector* menyebabkan penambahan temperatur pada panel surya, karena radiasi surya tidak hanya dapat berupa *photon* yang digunakan untuk masukkan panel surya akan tetapi juga merupakan radiasi. peningkatan temperatur sel surya tersebut mengakibatkan penurunan tegangan keluaran panel surya.

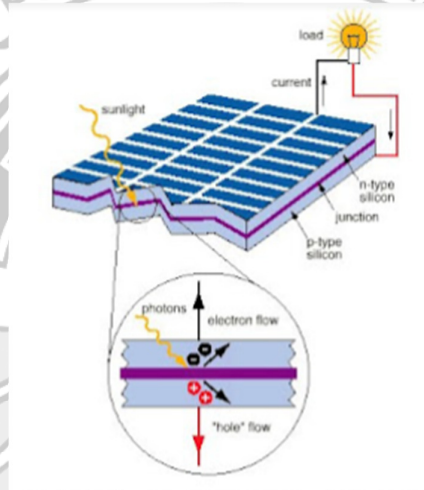
2.3 Prinsip Kerja Panel Surya

Di dalam sinar matahari terdapat partikel-partikel yang sangat kecil yang disebut sebagai foton. Foton ini nantinya akan mengenai bagian atom yang terdiri atas silikon semikonduktor sel surya. Dari proses tersebut, menyebabkan terjadinya sebuah ledakan yang dapat menimbulkan energi besar yang mampu untuk memisahkan elektron dari strukturnya. Elektron yang terpisah akibat proses ledakan akan berubah menjadi dua muatan yakni elektron dengan muatan negatif dan elektron dengan muatan positif. Elektron yang sudah berpisah serta memiliki muatan negatif akan bergerak ke daerah konduktor dari material semikonduktor. Dan pada atom yang telah hilang elektronnya, maka strukturnya akan kosong yang disebut dengan *hole* yang bermuatan positif.

Jika ada elektron bebas yang sifatnya negatif, maka bisa menjadi pendonor elektron atau disebut dengan semikonduktor tipe “n”. Dan untuk semikonduktor

dengan *hole* bermuatan positif akan menjadi penerima elektron atau semikonduktor tipe “p”.

Pada daerah antara tipe P dan tipe N akan membentuk (*PN Junction*). *PN Junction* inilah yang akan menimbulkan energi yang kemudian mendorong elektron beserta *hole* secara kuat untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Dan *PN Junction* ini juga menjadi tempat terjadinya arus listrik.

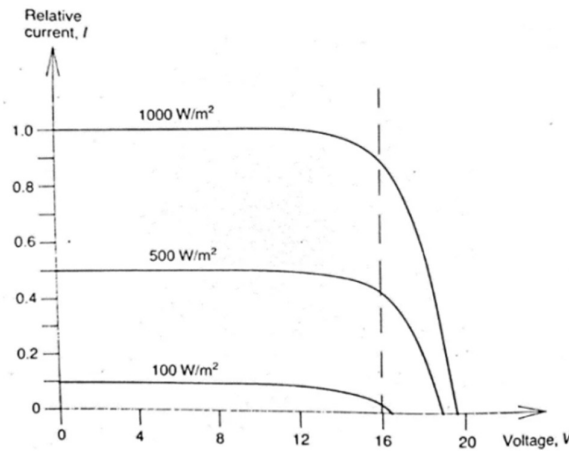


Gambar 2.4 Skema Kerja Panel Surya
(Sumber: <https://suryautamaputra.co.id>)

2.4 Faktor-Faktor Pengaruh Daya *Output* pada Panel Surya

2.4.1 Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari mempengaruhi karakteristik arus-tegangan pada panel surya. Hal ini disebabkan karena, semakin tinggi intensitas matahari maka daya yang dihasilkan panel surya akan meningkat, sebaliknya semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka daya yang dihasilkan akan semakin rendah. Gambar 2.5 di bawah adalah kurva pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap arus dan tegangan pada panel surya.



Gambar 2.5 Kurva Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Arus dan Tegangan
(Sumber: Roberts, 1991)

2.4.2 Temperatur Sel Surya

Sel surya dapat beroperasi secara maksimal apabila temperturnya tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V). Apabila temperatur Sel Surya meningkat setiap 10°C (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dapat dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10°C (Asy'ari dkk., 2012).

2.4.3 Kondisi Cuaca

Atmosfir bumi mengurangi radiasi matahari melalui proses pemantulan, penyerapan (oleh, ozon, uap air, oksigen dan karbondioksida) dan penghamburan (oleh molekul-molekul udara, partikel debu atau polusi). Untuk cuaca yang cerah pada siang hari, intensitas radiasi yang mencapai permukaan bumi adalah 1.000W/m². Nilai ini relatif terhadap lokasi, jadi semakin cerah cuaca, maka daya listrik yang dapat dibangkitkan panel surya semakin tinggi.

2.4.4 Orientasi Panel Surya

Pemasangan panel surya diharuskan untuk menghadap ke arah khatulistiwa, agar panel surya bisa mendapatkan penyinaran yang optimal sehingga, dapat menghasilkan energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan bumi utara maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi selatan maka panel surya diorientasikan ke utara. Panel surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) harus diletakan mendatar (*tilt angle* = 0°), agar menghasilkan energi maksimum.

2.4.5 Bayangan/*Shading*

Dalam pemasangan panel surya juga harus memperhatikan bayangan yang menutupi permukaan panel surya. Hal ini dikarenakan, ketika panel surya tertutup oleh bayangan, sambungan P-N di dalam panel surya berhenti memproduksi energi dan menjadi beban pasif. Sel ini berperilaku seperti sebuah dioda yang memblokir arus yang diproduksi oleh sel-sel lainnya yang terhubung seri. Selain itu juga dapat menyebabkan panas berlebih dan kerusakan pada modul.

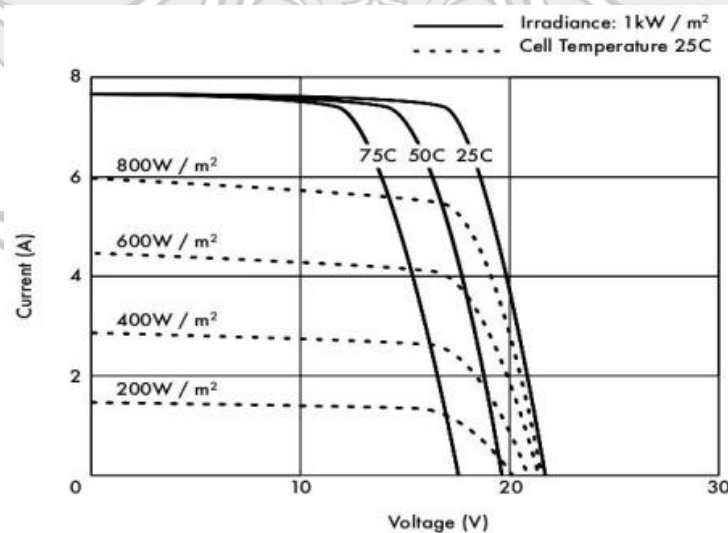
2.4.6 Kebersihan Panel Surya

Faktor penting lainnya yang mempengaruhi besarnya foton yang diterima oleh panel surya adalah kebersihan pada panel surya. Hasil daya *output* dari panel surya yang dibersihkan itu lebih besar dibandingkan panel surya yang tidak dibersihkan. Ini dikarena adanya debu dan kotoran pada permukaan panel, sehingga menghalangi masuknya sinar matahari ke panel surya.

2.5 Karakteristik Panel Surya

Farhana *et al.* (2012) menyatakan bahwa efisiensi sel surya PV menurun seiring dengan peningkatan suhu. Aturan umum penurunan ini pertama-tama ditentukan oleh penurunan tegangan sel rangkaian terbuka. Oleh karena itu kinerja sel PV yang efisien dalam kondisi menuntut pendinginan. Selama pengoperasian sel PV dalam kinerja luar ruangan, sel PV mengalami suhu tinggi yang dicapai dalam kondisi penyinaran tinggi. Suhu sel PV bisa mencapai 60-80°C. Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), faktor kurva (CF) dan efisiensi (η) adalah parameter yang bergantung pada suhu dan kinerja sel surya dipengaruhi oleh suhu. Ketika suhu meningkat, V_{oc} akan berkurang dengan laju 0,1%/°C sedangkan I_{sc} sedikit meningkat dengan suhu (T). Berikut ini akan dibahas tentang karakteristik sel surya.

2.5.1 Karakteristik kurva I-V Terhadap Perubahan *Irradiance* dan Temperatur



Gambar 2.6 Karakteristik Hubungan arus dan tegangan terhadap variasi Radiasi dan Temperatur

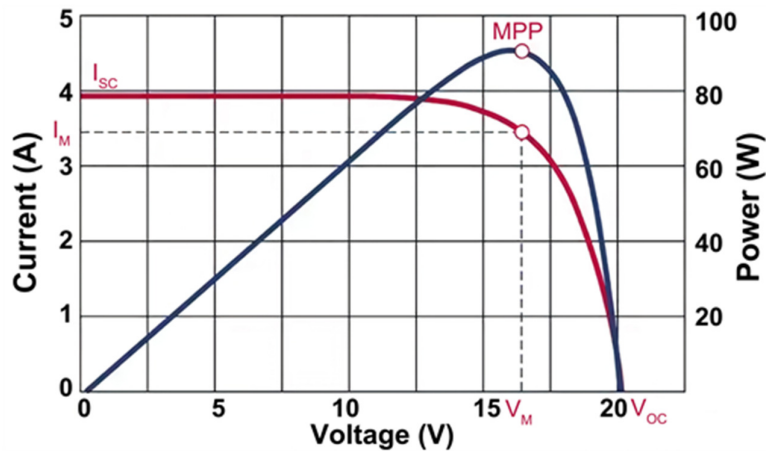
(Sumber: Ouaschnig: 2005)

Kurva pada Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan terhadap pengujian modul *photovoltaic* biasanya dilakukan pada *Standard Test Condition* (STC) yaitu *Air Mass* (AM) 1,5 *irradiance* 1000 W/m² dan temperatur 25°C. Dalam kondisi nyata, nilai *irradiance* tidak mencapai nilai tersebut, hal tersebut biasa dipengaruhi oleh posisi lintang, posisi matahari dan kondisi cuaca. Nilai *irradiance* pada lokasi tertentu juga bervariasi dari bulan ke bulan. Perlu diketahui bahwa nilai *irradiance* berpengaruh pada temperatur sel surya. Makin tinggi nilai *irradiance* makin tinggi pula temperatur pada sel tersebut.

Berdasarkan kurva tersebut yang menggambarkan hubungan antara arus terhadap tegangan pada suatu nilai *irradiance* dan temperature tertentu. Dapat dilihat untuk pengaruh *irradiance* terhadap daya *output* berbanding lurus. Pada saat *irradiance* tinggi, yaitu pada saat jumlah foton banyak, arus yang dihasilkan juga besar. Demikian pula sebaliknya, sehingga arus yang dihasilkan berbanding lurus terhadap jumlah foton. Sedangkan untuk pengaruh temperatur terhadap sel surya setiap kenaikan temperatur dapat dilihat bahwa tegangan yang dihasilkan menurun pada saat arus tetap. Jadi dari kurva karakteristik diatas dapat diketahui bahwa daya *output* PV sangat tergantung pada *irradiance* dan sangat berpengaruh pada tempertaur.

2.5.2 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Daya

Daya yang dihasilkan dari sel surya merupakan tegangan (V) operasi yang dikalikan dengan arus (I) operasi. Tegangan dan arus keluaran yang didapatkan ketika sel surya memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang ditampilkan dalam kurva I-V pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva MPP Sel Surya
(Sumber: www.scirp.org)

Kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*Maximum Power Point*, MPP) maka akan menghasilkan daya output maksimum. Tegangan pada titik MPP (V_m) lebih kecil dari tegangan *open circuit* (V_{oc}), sedangkan arus pada titik MPP (I_m) juga lebih rendah dari arus *short circuit* (I_{sc}). Pada saat keluaran sel surya saat tidak diberikan beban (*open circuit*) maka tidak ada arus yang mengalir dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Pada keadaan lain, saat keluaran sel surya dihubungkan singkatkan (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang disebut arus *short circuit* (I_{sc}). Selain itu terdapat nilai daya maksimum (P_m) yang dihasilkan pada saat tegangan maksimum (V_m) dan arus maksimum (I_m). Titik dimana nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP).

Tegangan *Open Circuit* (V_{oc}) merupakan tegangan yang dibaca ketika arus tidak mengalir atau juga bisa disebut arus sama dengan nol. Cara untuk mendapatkan tegangan *open circuit* (V_{oc}) yaitu dengan menghubungkan kutub

positif dan kutub negative pada modul surya dengan voltmeter, sehingga akan terlihat nilai tegangan open circuit sel surya pada voltmeter.

Arus *Short Circuit* (I_{sc}) adalah arus maksimal yang diperoleh modul sel surya dengan cara menge-*short*-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul surya. Dan nilai I_{sc} akan terbaca pada amperemeter. Arus yang dihasilkan modul surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan.

2.6 Rumus Teoritis Kinerja Panel Surya

Panel surya, pada dasarnya merupakan sebuah mesin yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan suatu produk/*output* (listrik) dari bahan masukan/*input* (cahaya matahari) melalui suatu proses yang terjadi di dalamnya (efek fotovoltaiik). Dikarenakan banyak faktor, tidak semua cahaya yang diserap oleh panel dapat dikonversi menjadi energi listrik. *output* dari panel surya menghasilkan tegangan DC.

2.6.1 Daya *Input*

Daya *input* dari panel surya merupakan hasil kali antara intensitas cahaya matahari (W/m^2) dengan luas penampang panel surya (m^2). Untuk menentukan daya *input* panel surya dapat digunakan permasamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = G \times A \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

P_{in} = Daya *input* akibat radiasi matahari (W)

G = Intensitas cahaya matahari (W/m^2)

A = luas penampang panel surya (m^2)

2.6.2 Daya Output

Daya keluaran atau *output* dari panel surya merupakan perkalian dari tegangan dengan arus. Untuk menentukan daya *output* dari panel surya digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

P_{out} = Daya *output* pada panel surya (W)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

2.6.3 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya merupakan ukuran *output* daya listrik panel surya (W) dibandingkan dengan luas permukaannya. Umumnya semakin tinggi efisiensi sebuah panel surya maka semakin besar daya yang dikeluarkan dari panel surya tersebut. Akan tetapi efisiensi panel surya akan menurun apabila panel suhu panel surya berada diatas $25^{\circ}C$. (Harafany dkk., 2021). Efisiensi panel surya dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

η = Efisiensi panel surya

P_{out} = Daya yang keluar pada panel surya (W)

P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (W)

2.7 Teknik Pendinginan Panel Surya

Sistem pendingin adalah suatu sistem yang bekerja menjaga atau menurunkan suhu pada kondisi ideal dengan cara memindahkan panas dari suatu bidang ke air atau udara. Perpindahan panas dasarnya merupakan perpindahan energi dari suatu tempat yang lain dan ada perbedaan suhu diantara dua bagian benda. Panas akan pindah dari suhu tinggi ke suhu rendah (Loegimin, dkk., 2013).

Ada berbagai bentuk sistem pendingin mulai dari hembusan udara, media perpindahan (*heatsink*), aliran air, dan pendinginan dengan gabungan dari semua sistem tersebut.

Untuk menjaga efisiensi tetap stabil maka panel surya harus didinginkan dengan menjaga suhu panel surya pada kisaran 25° sampai 35° Celcius (Loegimin, dkk., 2013), dapat dilakukan berbagai cara diantaranya:

- 1) Pendinginan berdasarkan permukaan yang didinginkan, terbagi atas posisi depan (*front*) atau posisi belakang (*back*). Untuk posisi depan, dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan air setiap waktu tertentu atau air mengalir di bagian permukaan secara terus menerus. Sementara untuk posisi belakang dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan kipas bantu atau air dan udara.

- 2) Berdasarkan media pendingin dapat dibagi atas media air atau udara.
- 3) Berdasarkan sistem pengontrolannya terbagi atas pendinginan aktif dan pasif. Pendinginan pasif dapat terjadi dengan memanfaatkan kondisi alami suatu bahan seperti udara, air atau aluminium tanpa ada pengaturan otomatis dan tidak membutuhkan energi tambahan. Sementara untuk pendinginan aktif dilakukan dengan menambahkan energi lain untuk memaksa terjadinya pendinginan yang lebih cepat seperti menggunakan pompa, kipas angin dan pengontrol lainnya.

Berapa teknik pendinginan pasif panel surya adalah sebagai berikut:

- a) Mendinginkan bagian bawah panel menggunakan plat, sirip atau heatsink aluminium, seperti yang dilakukan pada penelitian Widodo dkk. (2015).
- b) Mendinginkan bagian bawah panel dengan mencelupkan bagian bawah panel ke dalam air, seperti yang dilakukan pada penelitian Almada dkk. (2020).

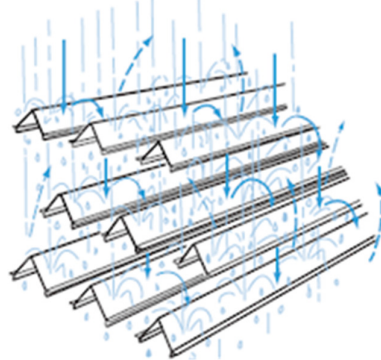
Berapa teknik pendinginan aktif panel surya adalah sebagai berikut:

- a) Mengalirkan air tipis ke permukaan panel. Penyemprotan dilakukan dengan tambahan pompa dan sistem kontrol, seperti yang dilakukan pada penelitian Loegimin dkk. (2020).
- b) Mendinginkan bagian bawah panel dengan penambahan inlet dan outlet air. Air yang bersumber dari sebuah tangki akan terus mengalir dengan penambahan pompa dan kontrol. Cara ini membutuhkan air yang banyak atau tangki yang besar.

Adapun teknik pendinginan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan komponen *splash fill*, dimana air dari keluaran panel akan diturunkan suhunya dengan cara memantulkan air tersebut ke beberapa lapisan yang ada didalam bak penampungan, sehingga air tersebut berubah menjadi bentuk butiran-butiran kecil. Dan dengan memanfaatkan hembusan angin maka suhu air tersebut akan dapat berkurang panasnya. Air yang suhunya sudah diturunkan tersebut akan disemprotkan kembali ke permukaan panel guna meredam suhu panel sekaligus membuat panel tetap pada set point suhu yang telah ditetapkan guna mendapatkan efisiensi terbaik pada panel surya.

2.8 *Splash Fill*

Spalsh Fill merupakan sebuah komponen berfungsi sebagai media pendingin air dalam sistem pendingin. Ini terdiri dari bahan yang berbentuk seperti tumpukan plastik atau bahan lainnya yang dapat menambah permukaan air dan memfasilitasi pertukaran panas antara air dan udara. *Splash fill* menyebar dan membantu memperluas permukaan air sehingga meningkatkan efisiensi pendinginan.



Gambar 2.8 *Splash Fill*
(Sumber: <https://www.bloganton.web.id>)

2.9 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses aliran energi termal dari suatu benda atau sistem dengan suhu lebih tinggi ke suatu benda atau sistem dengan suhu lebih rendah. Terdapat tiga mekanisme utama perpindahan panas:

2.9.1 Konduksi

Ini adalah perpindahan panas yang terjadi ketika energi termal mengalir melalui suatu benda tanpa adanya perpindahan materi. Ini terjadi ketika partikel-partikel dalam benda bergetar dan berinteraksi satu sama lain, menyebabkan energi termal berpindah dari partikel yang lebih panas ke yang lebih dingin. Material yang bagus dalam konduksi panas adalah konduktor panas, seperti logam.

2.9.2 Konveksi

Perpindahan panas konvektif terjadi dalam fluida (baik cair atau gas) ketika partikel-partikel fluida dengan energi termal tinggi bergerak dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin. Ini menciptakan aliran konveksi yang membawa energi termal bersama-sama. Contoh umum adalah pemanasan udara dalam oven atau air dalam panci yang mendidih.

2.9.3 Radiasi

Radiasi panas adalah perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik, seperti cahaya. Semua objek dengan suhu di atas nol absolut menghasilkan radiasi panas. Ini adalah mekanisme yang dominan dalam perpindahan panas dari matahari ke Bumi dan dalam peralatan seperti pemanas inframerah dan *oven microwave*.

Pada penelitian ini, panel surya yang didinginkan oleh air, perpindahan panas terjadi melalui konveksi. Ketika sinar matahari mengenai permukaan panel surya, suhu permukaannya akan meningkat, dan air mengalir di sekitar panel untuk menghilangkan panas tersebut. Air yang panas menjadi lebih ringan, naik, dan kemudian turun saat air yang lebih dingin menggantikannya, menciptakan aliran konveksi yang membawa panas dari permukaan panel ke dalam aliran air. Proses ini membantu menjaga suhu panel surya tetap pada tingkat yang optimal, memungkinkan panel untuk berfungsi dengan efisien dalam menghasilkan energi listrik.

Untuk menentukan perpindahan panas secara konveksi dari permukaan panel surya yang didinginkan oleh air digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$Q = \dot{m} \times C \times \Delta T \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

Q = Perpindahan panas (J)

\dot{m} = Laju aliran air (kg/s)

C = Kapasitas kalor air (J/kg°C)

ΔT = Perubahan temperatur (°C)

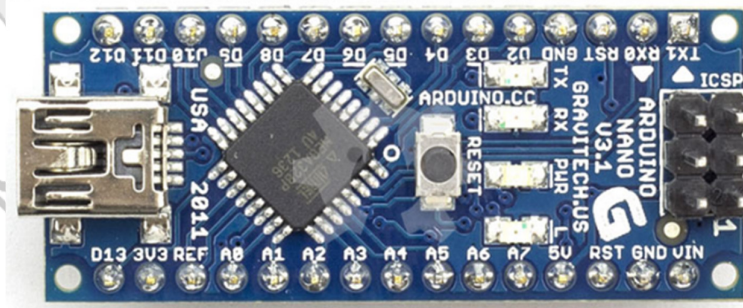
2.10 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu IC (*Intergrated Circuit*) dengan kepadatan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan untuk suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping. Pada umumnya mikrokontroler dapat menyimpan program di dalamnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*),

memori I/O dan unit pendukung seperti *analog-to-Digital Converter (ADC)* yang sudah terintegrasi di dalamnya. Rata-rata mikrokontroler memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung dan mudah, serta prosesn interrupt yang cepat dan efisien.

2.10.1 Arduino NANO

Arduino NANO adalah salah satu board mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino NANO diciptakan dengan basis mikrokontroler ATmega328 (untuk Arduino NANO versi 3.x) atau Atmega 16 (untuk Arduino versi 2.x). Arduino NANO kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. ArduinoNano tidak menyertakan colokan DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech.



Gambar 2.9 Arduino NANO tampak Depan
(Sumber: <https://henduino.github.io>)

Spesifikasi arduino dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino NANO

Mikrokontroler	Atmel ATmega168 atau ATmega328
Tegangan operasi	5V
<i>Input Voltage</i> (yang disarankan)	7V - 12V
<i>Input Voltage</i> (limit)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, (6 diantaranya menyediakan PWM)
Analog Input pin	8 buah
Arus DC per pin I/O	40 mA
<i>Flash Memory</i>	16KB (Atmega168) atau 32KB (Atmega328) 2KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) atau 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512B (ATmega168) atau 1KB (ATmega328)
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	1.85cm x 4.3cm

2.11 Software Arduino IDE

Arduino IDE merupakan sebuah *software* untuk memprogram arduino. Pada *software* inilah arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang dinamakan melalui *sintaks* pemrograman. Arduino menggunakan bahasa pemrograman C yang dimodifikasi (*C for Arduino*).

Menurut Nurdian, Ed., (2019) Bahasa pemrograman arduino sudah dirubah untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Didalam arduino sendiri sudah terdapat IC mikrokontroler yang sudah ditanam program yang bernama *Bootloader*. Fungsi dari *bootloader* tersebut adalah untuk menjadi penengah antara *compiler* arduino dan mikrokontroler.

Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA yang dilengkapi dengan *library* C/C++ (*wiring*), yang membuat operasi *input/output* lebih mudah. *Integrated Development Environment* (IDE) terdiri dari 3 bagian utama yaitu:

a) Editor Program

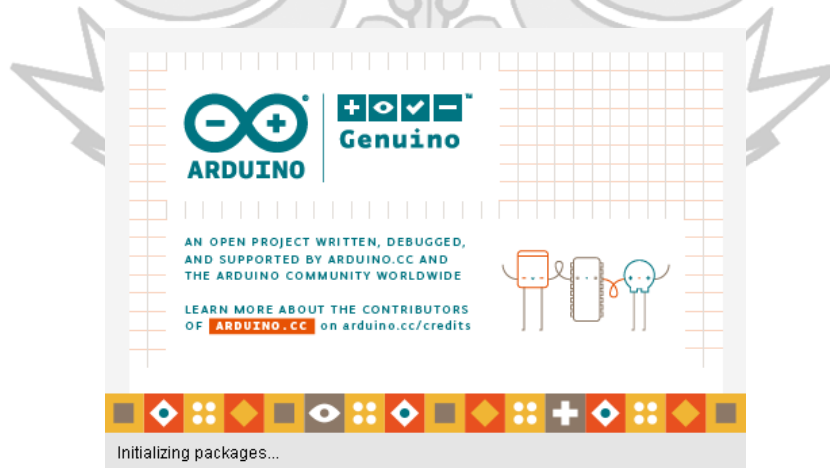
Sebuah *window* yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*.

b) Compiler

Compiler memiliki fungsi untuk kompilasi *sketch* tanpa mengunggah ke *board*. *Compiler* ini dapat digunakan untuk mengecek kesalahan kode *sintaks* *sketch*.

c) Uploader

Uploader ini berfungsi untuk mengunggah hasil kompilasi *sketch* ke *board* target. Pesan *error* akan terlihat error jika *board* belum terpasang atau alamat *port* COM belum terkonfigurasi dengan benar. Modul ini yang memuat kode *biner* dari komputer ke dalam memori yang terdapat pada papan arduino.



Gambar 2.10 *Software* Arduino IDE
(Sumber: <https://allgoblog.com>)

2.12 Data Logger

Data *logger* merupakan sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengumpulkan dan merekam data dari objek yang direkam baik secara terintegrasi dengan sensor eksternal maupun sensor internal seperti sensor arus dan sensor tegangan. Data real time yang direkam dan dikumpulkan kemudian disimpan secara MMC/SD card untuk back up data apabila terjadi kerusakan pada data *logger*. Data *logger* atau logging data yang digunakan dalam perancangan sistem ini adalah berbasis mikrokontroler yang berfungsi sebagai kontrol dari sistem yang terintegrasi dengan perangkat masukan digital dan analog (Sanjaya dkk., 2017).

2.13 Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 merupakan sensor pengukur suhu yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler. Sensor ini memiliki keluaran digital sehingga tidak membutuhkan rangkaian ADC, tingkat keakurasian serta kecepatan dalam mengukur suhu memiliki kestabilan yang lebih baik dari sensor suhu lainnya. Tegangan ideal yang keluar dari sensor DS18B20 mempunyai perbandingan 100°C setara dengan 1 volt. Adapun spesifikasi dari sensor DS18B20 adalah sebagai berikut:

- 1) Dapat digunakan dengan power 3.0V sampai 5.5V.
- 2) Tingkat keakurasian 0.5°C dari -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$.
- 3) Jarak temperatur: -55 sampai 125°C .

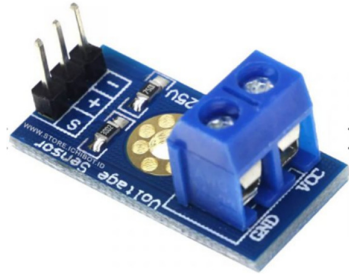


Gambar 2.11 Sensor DS18B20
(Sumber: <https://www.hestech.id>)

2.14 Sensor Tegangan DC

Merupakan sebuah modul yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur tegangan. Sensor tegangan ini bekerja menggunakan prinsip pembagi tegangan atau biasa disebut *voltage divider*. Dimana tegangan input yang dibaca pada output sensor ini pembagian 5 terhadap tegangan input. Maksudnya jika tegangan yang ingin dideteksi pada sensor ini adalah 30V DC, maka output dari sensor tegangan ini adalah $30/5=6V$ DC. Adapun spesifikasi dari sensor tegangan DC ini adalah sebagai berikut:

1. Tegangan *input* : 0-25V DC.
2. Tegangan deteksi : 0,02445-25V DC.
3. Ketelitian pengukuran : 0,00489V.
4. Ukuran : 25 X 13 mm



Gambar 2.12 Sensor Tegangan DV
(Sumber: <https://store.ichibot.id>)

2.15 Sensor Arus

Sensor arus berfungsi untuk mendeteksi aliran arus yang melewatinya. Jenis sensor arus ini adalah sensor ACS712 (*Allegro Current Sensor*) atau biasa disebut sensor *hall effect current*. Sensor ACS712 merupakan sensor yang bisa digunakan sebagai sensor arus AC ataupun arus DC dalam pembacaan arus. sensor ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus kecil. Adapun spesifikasi dari sensor ACS712 ini adalah sebagai berikut:

1. Rise time output = $5\mu\text{s}$.
2. Bandwidth sampai dengan 80 kHz.
3. Total kesalahan output 1,5% pada suhu kerja = 25°C .
4. Tahanan konduktor internal $1,2\text{ m}\Omega$.
5. Tegangan isolasi minimum 2,1 kVRMS antara pin 1-4 dan pin 5-8.
6. Range Sensitivitas output antara 66-185 mV/A.
7. Mampu mengukur arus AC atau DC hingga 5A, 20 A dan 30 A sesuai jenis dari sensor ACS712.
8. Tegangan output proporsional terhadap input arus AC atau DC.
9. Tegangan kerja 5 VDC.



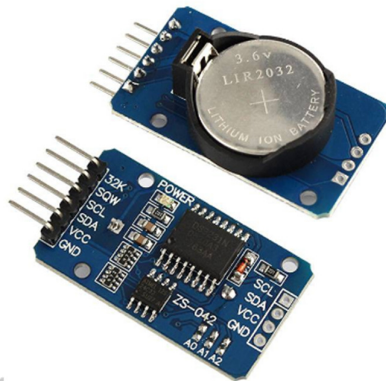
Gambar 2.13 Sensor Arus ACS712
(Sumber: <https://www.andalanelektro.id>)

2.16 Modul RTC DS3231

RTC merupakan singkatan dari *Real Time Clock*. Jadi modul RTC DS3231 adalah sebuah rangkaian elektronik yang mempunyai sistem untuk menyimpan data waktu dan tanggal dengan tingkat presisi atau akurasi tinggi. Selain itu, dalam *internal chip* DS3231 juga sudah terdapat sensor suhu dengan akurasi $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Berikut spesifikasi dari modul RTC DS3231:

1. Tegangan Operasi: 2.3V – 5.5V
2. Dapat beroperasi pada tegangan rendah
3. Konsumsi arus pada battery backup: 500nA
4. Tegangan Max pada SDA, SCL: VCC + 0.3V
5. Operating temperature: -45°C to $+80^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.14 Modul RTC DS3231
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

2.17 Modul Mikro SD

Modul mikro SD merupakan sebuah modul untuk mengakses mikro SD untuk pembacaan maupun penulisan data dengan menggunakan sistem antarmuka SPI (*Serial Parallel Interface*). Modul ini cocok untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan media penyimpan data seperti sistem absensi, sistem antrian, maupun sistem aplikasi data logging lainnya. Adapun spesifikasi dari modul mikro SD ini adalah sebagai berikut:

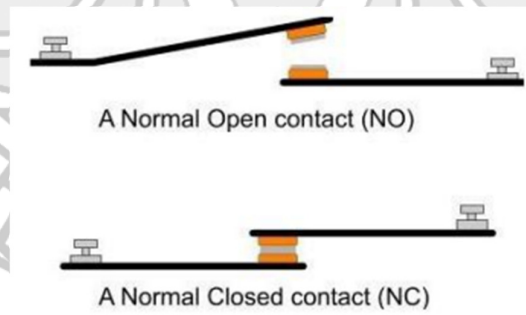
1. Menggunakan tegangan input DC 4,5 – 5,5 V DC
2. Arus 200 mA
3. Support *Micro SD Card* ≤ 2 GB, dan *Micro SDHC Card* ≤ 32 GB
4. Size 42 x 24 x 12 mm
5. Weight 5 g



Gambar 2.15 Modul Mikro SD
(Sumber: <https://www.ajifahreza.com>)

2.18 Relay Modul

Relay adalah suatu perangkat elektronik yang berfungsi sebagai pemutus sumber tegangan apabila terjadi konsleting, kebakaran atau ada kerusakan pada piranti sehingga piranti elektronik tersebut tidak langsung rusak. Di dalam *Relay* terdapat sebuah kumparan elektromagnetik, dimana jika kumparan tersebut dialiri oleh sumber listrik maka akan menyebabkan medan magnet. Medan magnet tersebut akan menarik tuas sehingga merubah posisi dari kontak switch dari posisi NO (*Normaly Open*) saat *relay* tidak diberi tegangan menjadi NC (*Normaly Close*) saat *relay* diberi tegangan



Gambar 2.16 Kondisi *Relay* saat NO dan NC
(Sumber: <https://eprints.umm.ac.id>)

Berikut ini adalah spesifikasi modul *Relay 1 Channel*

Tabel 2.4 Spesifikasi Modul *Relay 1 Channel*

<i>Relay</i>
1 Channel output
Tegangan suplai 5-7,5V DC
Dilengkapi dengan <i>high-current relay</i> : 250V AC 10A; 30V DC 10A
<i>Optocoupler</i> sebagai pengaman
Antarmuka TTL Logic, dapat langsung di koneksikan dengan mikrokontroler
Dilengkapi LED indikator
Active Low (bekerja pada posisi Low) Low Triggered



Gambar 2.17 *Relay 1 Channel*
(Sumber: <https://eprints.umm.ac.id>)

2.19 Water Pump

Water pump/pompa air adalah alat untuk menggerakkan air dari tempat bertekanan rendah ke tempat bertekanan yang lebih tinggi. Pada dasarnya *water pump* sama dengan motor DC pada umumnya, hanya saja sudah di-*packing* sedemikian rupa sehingga dapat digunakan di dalam air. Pada perancangan ini digunakan *water pump* DC 12V untuk menyemprotkan air. Berikut ini gambar dari *water pump* 12V



Gambar 2.18 *Water Pump DC*
(Sumber: <https://www.tokopedia.com>)

2.20 Liquid Cristal Display (LCD)

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. *LCD (Liquid Cristal Display)* adalah salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi 10 memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. *LCD (Liquid Cristal Display)* berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. Untuk spesifikasi *LCD Display 20x4* dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Spesifikasi LCD *Display* 20x4

No.	Nama	Spesifikasi
1.	Blue backlight	I2C
2.	Display Format	20 Characters x 4 lines
3.	Supply voltage	5V
4.	Back lit	Blue with White char color
5.	Supply voltage	5V
6.	Pcb Size	98mm60mm
7.	Contrast Adjust	Potentiometer
8.	Backlight Adjust	Jumper



Gambar 2.19 LCD *Display* 20x4
(Sumber: <https://www.tokopedia.com>)

2.21 Modul I2C

I2C singkatan dari *Inter Integrated Circuit*, adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didesain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C sendiri terdiri dari saluran *Serial Clock* (SCL) dan Serial

Data (SDA) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya.

Adapun spesifikasi dari modul I2C ini adalah sebagai berikut:

1. Power: DC 5V.
2. Support LCD 1602 dan 2004 (LCD 16x2, LCD 16x4)
3. Kontrol pin: SDA dan SCL.
4. Built-in potensio untuk adjust brightness.
5. Built-in jumper untuk menon-aktifkan backlight.
6. Dimensi: 40mm x 18mm.
7. Berat: 20 gram.



Gambar 2.20 Modul I2C
(Sumber: <https://www.bukalapak.com>)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi pembuatan dan pengujian alat dilaksanakan di Laboratorium Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Waktu pembuatan dan pengerjaan Skripsi ini dilaksanakan selama 7 bulan mulai bulan Maret 2023 sampai dengan bulan September 2023.

3.2 Teknik Penelitian

Teknik penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membandingkan panel surya yang menggunakan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin. Dimana tegangan *output* panel, arus *output* panel, dan suhu panel yang dijadikan sebagai data pembanding.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan rancang bangun sistem pendingin panel surya dengan metode penyemprotan air dan pendingin suhu air menggunakan teknik *splash fill cooling water* adalah sebagai berikut:

3.3.1 Alat

Tabel 3.1 Daftar Alat

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
1.	Seperangkat alat	-	-
2.	Multimeter	Digital	1 Buah
3.	<i>Solar Power Meter</i>	Digital	1 Buah
4.	Laptop	-	1 Buah
5.	Lampu	12V/3 Watt	2 Buah
6.	Panel surya	<i>Poly-Crystalline 100WP</i>	1 Buah
7.	SCC	10 A	2 Buah
8.	Baterai	7,5 Ah	2 Buah
9.	Panel box	30 cm × 15 cm × 40 cm	2 buah
10.	Arduino NANO	Atmega328	3 Buah
11.	Sensor suhu	DS18B20	4 Buah
12.	Sensor tegangan DC	-	3 Buah
13.	Sensor arus DC	ACS712/20A	3 Buah
14.	Modul RTC	-	3 Buah
15.	Modul mikro SD	-	3 Buah
16.	LCD	20 x 4	3 Buah
17.	Modul <i>relay</i>	1 Channel/5V-Low trigger	2 Buah
18.	Adaptor	12V DC/1A	3 Buah
19.	Saklar	-	2 Buah
20.	Pompa	12V DC/100psi	1 Buah
21.	Pompa	12V DC/80psi	1 Buah
22.	<i>Fitting</i> lampu	-	2 Buah
23.	Terminal kabel	-	Secukupnya

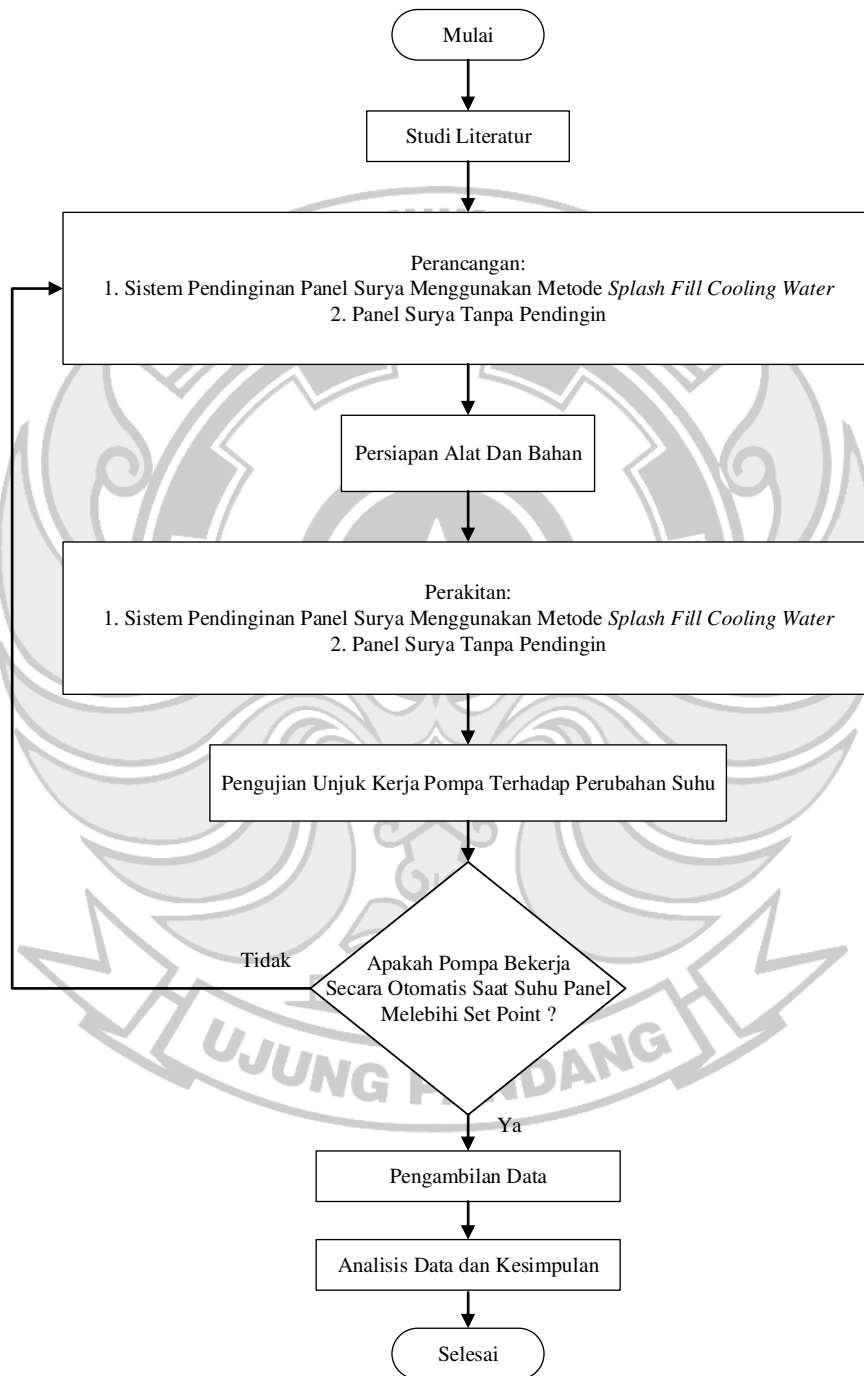
3.3.2 Bahan

Tabel 3.2 Daftar Bahan

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
1.	Kaca Akrilik	244 cm × 122 cm × 3 mm	1 Lembar
2.	Tripleks	244 cm × 122 cm × 3 mm	1 Lembar
3.	Aluminium <i>bubble foil</i>	120 cm x 100 cm	6 Lembar
4.	Siku Berlubang	3 m	8 buah
5.	Baut	8 mm × 20 mm	Secukupnya
6.	Ring Plat	-	Secukupnya
7.	Mur	8 mm	Secukupnya
8.	Selang <i>Transparant</i>	3/8 Inchi	7,5 Meter
9.	Kabel <i>jumper</i>	20 cm	Secukupnya
10.	Lem Akrilik	-	1 Botol
11.	Lem Lilin	-	8 Buah
12.	Timah	-	1 <i>Roll</i>
13.	Tali <i>ties</i>	100mm	1 <i>Pack</i>
14.	Engsel	-	2 Buah
15.	Kabel-Kabel	-	Secukupnya
16.	Pipa PVC	5/8 Inchi	4 Meter

3.4 Prosedur Kerja

Langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1



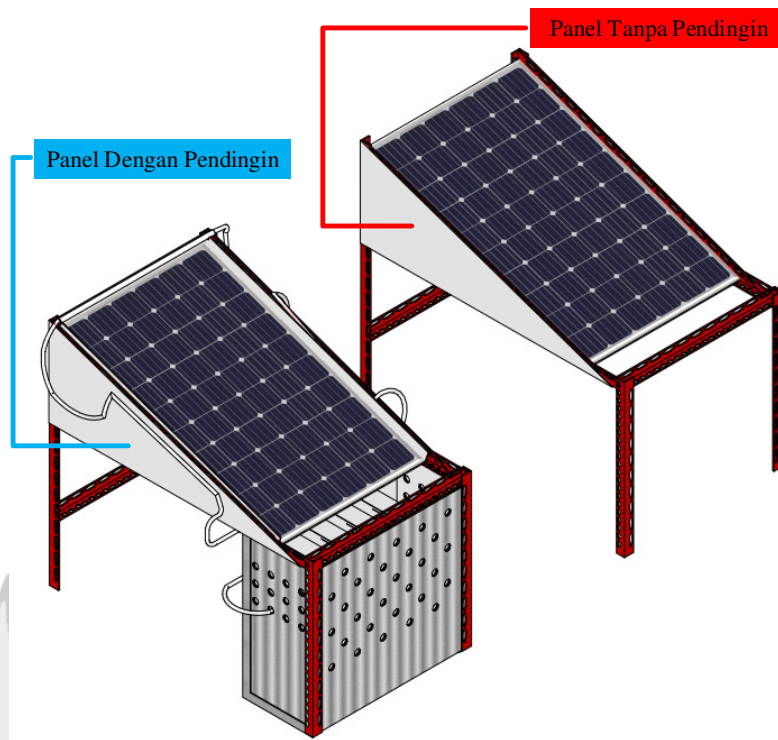
Gambar 3.1 Diagram Flowchart

3.5 Tahap Perancangan

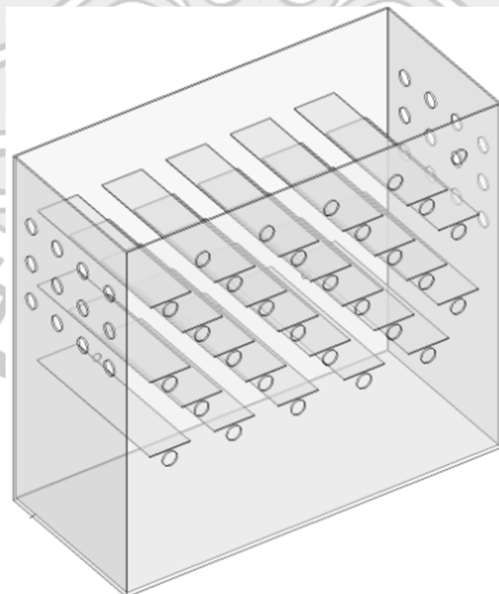
Tahap perancangan ialah suatu tahapan yang dilakukan dalam sebuah proses perancangan, tahapan ini dibutuhkan untuk memudahkan perancang dalam mengembangkan ide rancangan. Perancangan pada penelitian ini terbagi atas dua bagian yaitu perancangan perangkat lunak (*software*) dan perancangan perangkat keras (*hardware*).

3.5.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Rancangan sistem perangkat keras (*hardware*) pada sistem pendingin panel surya dengan metode *splash fill cooling water* menggunakan beberapa komponen yaitu panel surya, *solar charge controller*, baterai, dan beban lampu DC 3 Watt sebagai beban, sensor-sensor yang digunakan, Arduino NANO, modul RTC, modul mikro SD, dan laptop. Rangkaian pembangkit listrik tenaga surya merupakan perangkat yang berfungsi sebagai pemasok energi listrik. Sensor-sensor yang digunakan seperti sensor arus DC, tegangan DC, dan suhu yang akan mendeteksi arus DC, tegangan DC, dan suhu di area sekitar panel surya (sisi permukaan panel surya). Terkhusus untuk sensor tegangan dan sensor arus dilakukan pengujian pada output panel surya menggunakan multimeter. Sedangkan sensor suhu, hasil pembacaannya akan diteruskan ke mikrokontroler Arduino NANO untuk proses akuisisi data. Hasil olahan dari Arduino NANO selain ditampilkan ke perangkat LCD, datanya juga akan disimpan kedalam data *logger* pada *Micro SD Card*.



(a)



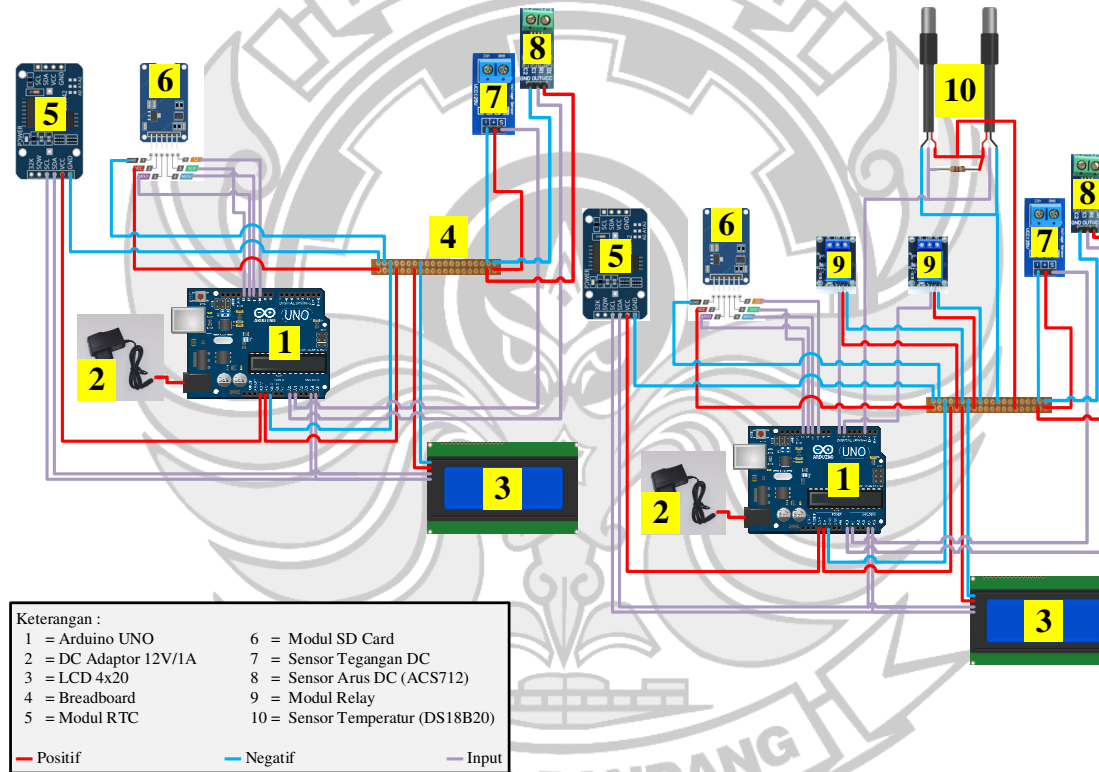
(b)

Gambar 3.2 Perancangan Struktur Kerangka (a) Panel, (b)Bak penampung air

Untuk kerangka panel surya dan bak penampungan dapat dilihat pada Gambar 3.2, kerangka ini terbuat dari besi siku yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan panel surya dan panel box pada dua kerangka tersebut berisikan komponen-komponen. Terkhusus pada kerangka panel dengan sistem pendingin terdapat sebuah pipa panjang berlubang di letakkan pada sisi bagian atas panel yang berfungsi sebagai tempat keluaran air dari bak penampungan yang dibawa oleh pompa. Panel box dari sistem pendinginan dari bahan besi yang didalamnya terdapat komponen seperti *solar charge controller* (SCC) dan baterai. Untuk peralatan mikrokontroler seperti arduino, sensor arus, sensor tegangan, relay 1 *channel*, adaptor, LCD, modul RTC dan modul mikro SD diletakkan pada bagian dalam dari sisi belakang kerangka panel. Sedangkan panel box serta alat-alat mikrokontroler pada panel tanpa sistem pendingin itu juga letaknya sama seperti pada panel dengan sistem pendingin. Untuk perencanaan kerangka bak bendungan dapat dilihat pada Gambar 3.2, merupakan ilustrasi bagian kerangka dari bak penampungan yang terbuat dari bahan akrilik. Pada bagian dalam bak penampungan terdapat komponen *spalsh fill* yang terbuat dari sisa potongan kaca akrilik dan disusun secara selang-seling.

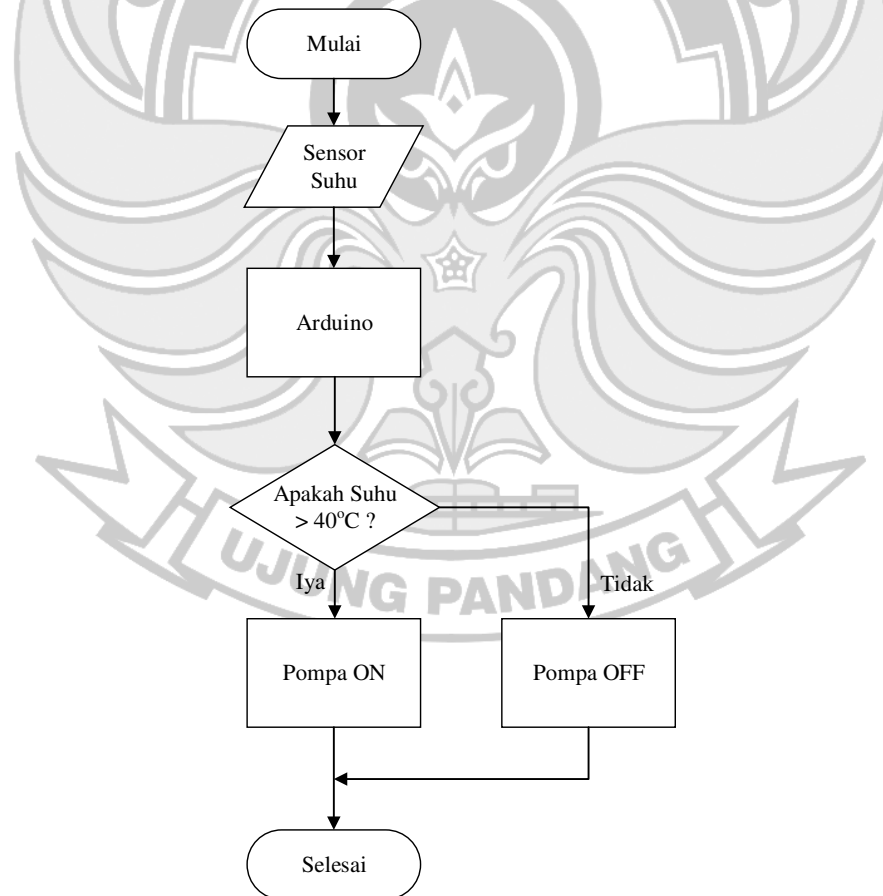
3.5.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

1) Panel Surya Menggunakan Sistem Pendingin

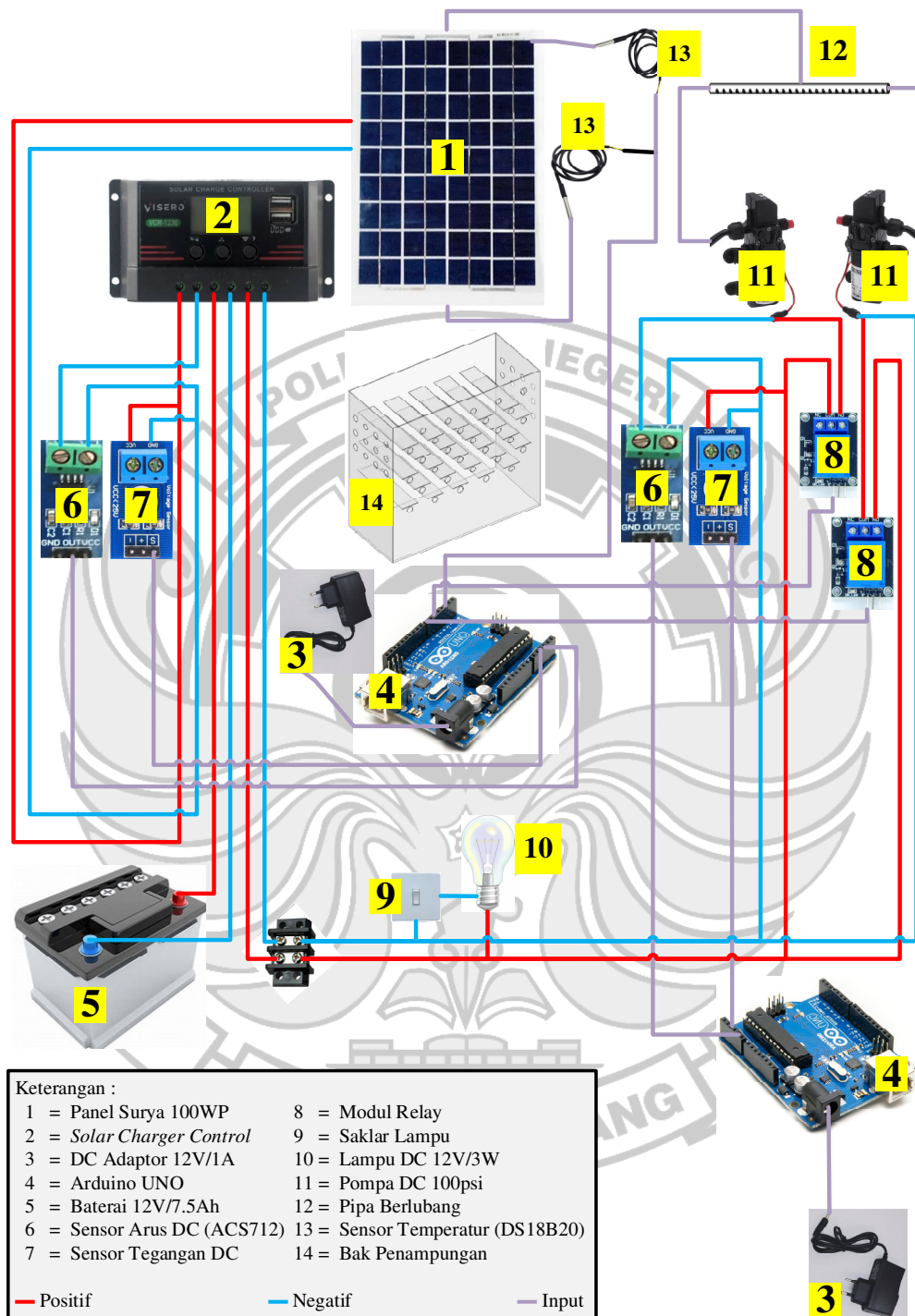


Gambar 3.3 Skema Rangkaian Mikrokontroler pada Panel Surya Menggunakan Sistem Pendingin Berbasis Arduino

Berdasarkan Gambar 3.3, prinsip kerja sistem adalah saat sensor suhu yang digunakan untuk memonitoring suhu pada permukaan panel surya. Hasil pembacaan suhu oleh sensor diproses oleh Arduino NANO yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal analog ke *relay* untuk menjalankan pompa air DC secara otomatis dan menampilkannya suhu panel ke perangkat LCD. Sistem pendingin dengan penyemprotan air akan aktif mengalirkan air pada permukaan panel surya apabila suhu panel surya telah melebihi set point yang ditentukan. Air yang menyentuh permukaan panel surya akan mengalir kembali ke dalam bak penampungan agar dapat digunakan kembali.

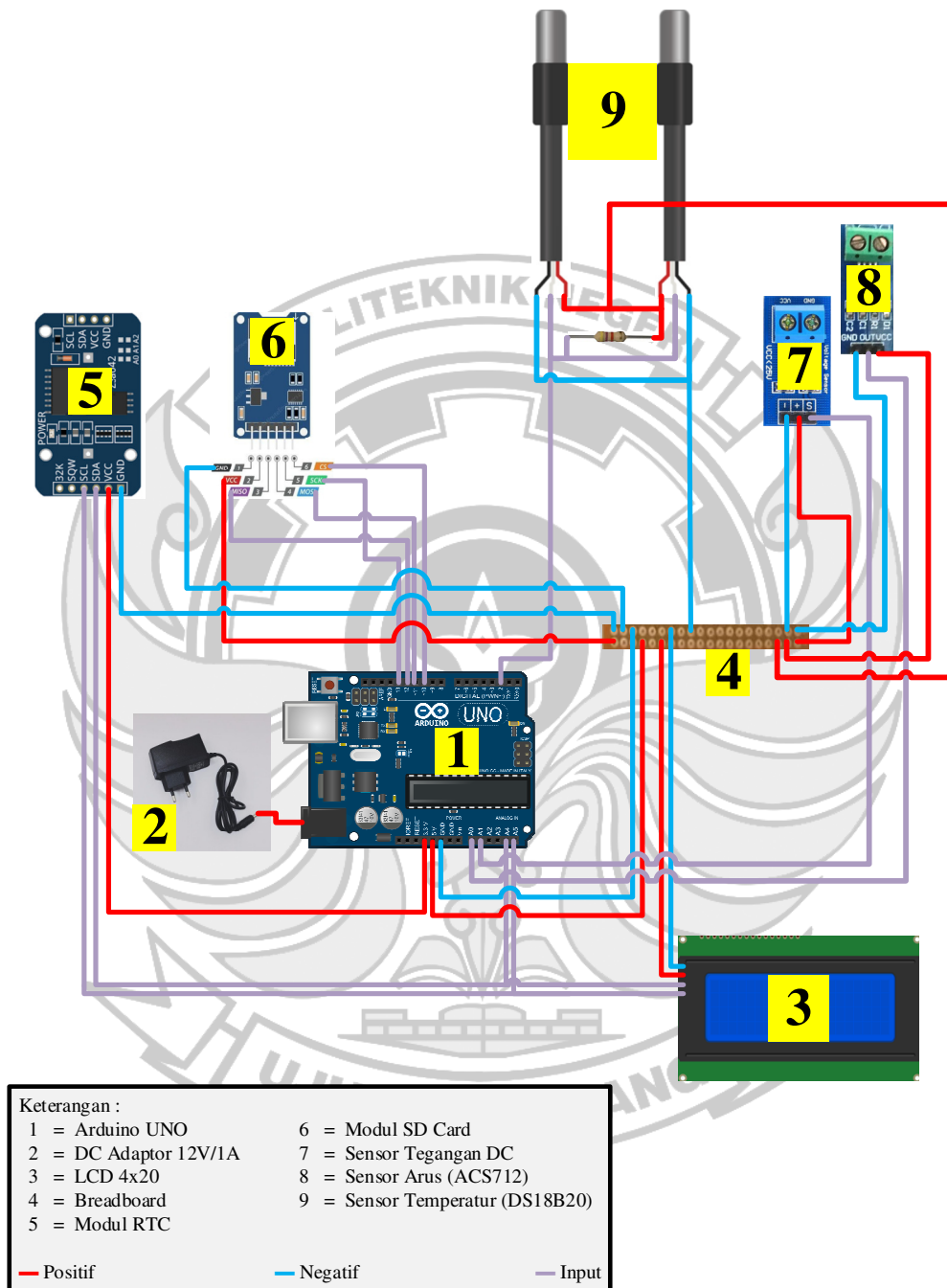


Gambar 3.4 Flowchar Kontrol Suhu



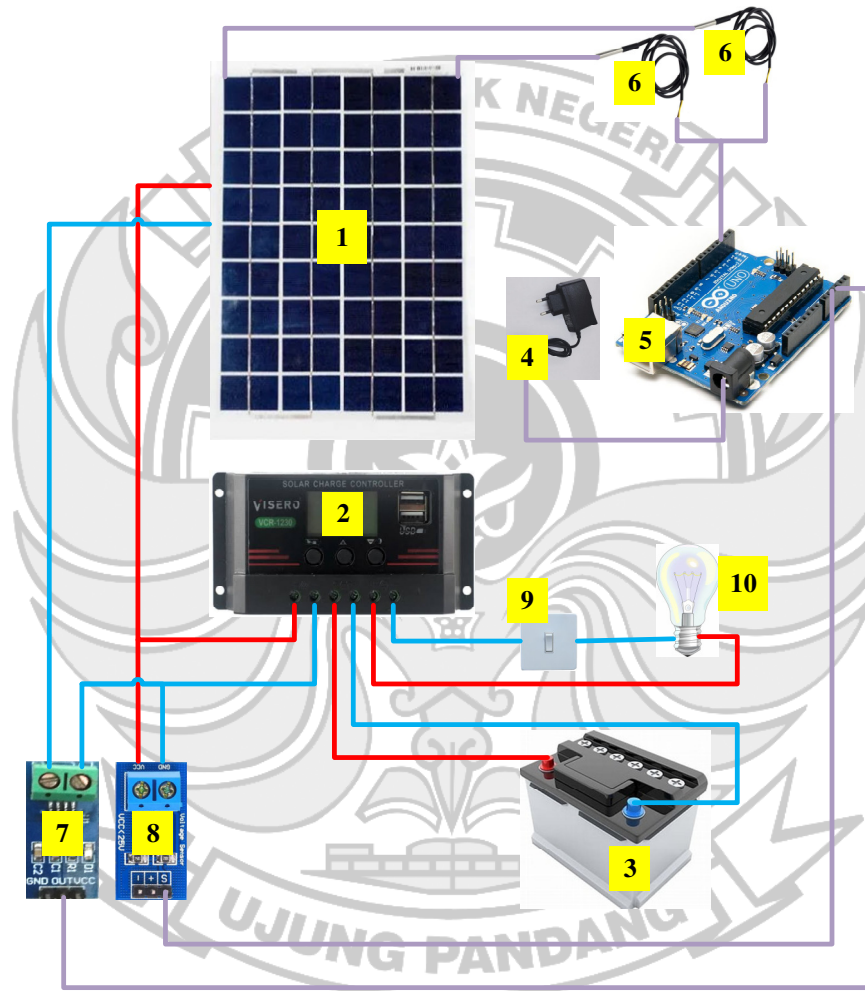
Gambar 3.5 Skema Pengujian Panel Surya Dengan Sistem Pendingin

2) Panel Surya Tanpa Menggunakan Sistem Pendingin



Gambar 3.6 Skema Rangkaian Mikrokontroler pada Panel Surya Tanpa Menggunakan Sistem Pendingin Berbasis Arduino

Pada Gambar 3.6, prinsip kerja sistem yaitu saat sensor suhu yang digunakan untuk memonitoring suhu pada permukaan panel surya. Hasil pembacaan suhu oleh sensor diproses oleh Arduino NANO yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal analog ke LCD untuk ditampilkan pembacannya.



Keterangan :

1 = Panel Surya 100WP	6 = Sensor Temperatur (DS18B20)
2 = Solar Charger Control	7 = Sensor Arus DC (ACS712)
3 = Baterai 12V/7.5A	8 = Sensor Tegangan DC
4 = DC Adaptor 12V/1A	9 = Sakelar Lampu
5 = Arduino UNO	10 = Lampu DC 12V/3W

— Positif — Negatif — Input

Gambar 3.7 Skema Pengujian Panel Surya Tanpa Sistem Pendingin

Prosedur perancangan *software* untuk kedua program diatas yaitu sebagai berikut:

- 1) Menginstal *software* Arduino IDE pada PC.
- 2) Membuat program baru.
- 3) Program dibuat pada halaman *sketch*, Struktur Arduino IDE terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- a) Header

Header berisikan *library* dari setiap komponen yang digunakan.

- b) Void setup ()

Pada bagian Void setup berfungsi untuk menyambungkan variabel pembacaan sensor dan komunikasi dengan perangkat keras mikrokontroler dan hanya dijalankan sekali selama program dijalankan.

- c) Void loop ()

Pada bagian *void loop* () merupakan sebuah fungsi berjalan secara berulang ulang dan terus menerus dan bisa disebut juga fungsi ini merupakan program utama yang berisis tentang perintah untuk membaca sensor.

Pada sistem monitoring dan data *logger* pembangkit listrik tenaga surya berbasis Arduino Nano, ini dibuat dalam 3 *script* pemerograman

- a) Program pembacaan sensor panel dan mengontrol pompa pada panel surya dengan sistem pendingin

Dalam *script* ini berisikan program yang diupload kedalam Arduino Nano yang berisikan *library-library* seperti *library* sensor suhu, RTC, *Micro SD Card*, dan LCD. Bagian *void setup* berisikan perintah untuk menjalankan dan

mengabungkan setiap komponen yang terhubung ke Arduino nano. Bagian *void loop* berisikan perintah dalam menjalankan setiap program yang digunakan seperti program untuk membaca sensor panel (waktu, tegangan, arus, dan temperatur) dan program untuk menjalankan pompa sesuai temperatur yang telah ditentukan. Untuk semua pembacaan sensor akan ditampilkan ke LCD dan akan disimpan ke dalam *memory SIM Card*.

- b) Program pembacaan sensor pompa pada panel surya dengan sistem pendingin

Dalam *script* ini berisikan program yang diupload kedalam Arduino Nano yang berisikan *library-library* seperti *library* RTC, *Micro SD Card*, dan LCD. Bagian *void setup* berisikan perintah untuk menjalankan dan menghubungkan setiap komponen yang terhubung ke Arduino nano. Bagian *void loop* berisikan perintah dalam menjalankan program untuk membaca sensor pompa (waktu, tegangan dan arus). Untuk semua pembacaan sensor akan ditampilkan ke LCD dan akan disimpan ke dalam *memory SIM Card*.

- c) Program pembacaan sensor panel pada panel surya tanpa sistem pendingin

Dalam *script* ini berisikan program yang diupload kedalam Arduino Nano yang berisikan *library-library* seperti *library* sensor suhu, RTC, *Micro SD Card*, dan LCD. Bagian *void setup* berisikan perintah untuk menjalankan dan menghubungkan setiap komponen yang terhubung ke Arduino nano. Bagian *void loop* berisikan perintah dalam menjalankan program untuk membaca sensor panel (waktu, tegangan, arus, dan temperatur). Untuk semua pembacaan sensor akan ditampilkan ke LCD dan akan disimpan ke dalam *memory SIM Card*.

3.6 Tahap Pembuatan dan Perakitan

3.6.1 Rangka Panel Surya

Prosedur pembuatan dan perakitan rangka panel surya adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- 2) Membuat rangka untuk panel surya dengan memotong besi siku sesuai dengan ukuran dimensi panel surya yang akan digunakan.
- 3) Menyusun potongan besi siku kemudian dilakukan penyambungan dengan menggunakan baut dan mur sebagai penyangga dari panel surya.
- 4) Setelah menentukan sudut kemiringan rangkaian panel surya, selanjutnya mengukur dan memotong besi siku yang nantinya akan dijadikan sebagai kaki rangka.
- 5) Melakukan pemasangan terhadap kaki rangka dalam rangka untuk panel surya.
- 6) Membuat dinding pelindung pada sisi panel menggunakan tripleks sesuai ukuran kerangka sisi samping panel.
- 7) Setelah proses untuk rangka panel surya selesai, Langkah selanjutnya memasang penyangga untuk panel box sistem pembangkit listrik tenaga surya dan sistem pendingin.
- 8) Merangkai rangkaian sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terdiri dari *solar charge controller* (SCC) dan baterai pada panel box.

3.6.2 Rangkaian untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Prosedur perakitan sistem pembangkitan listrik tenaga surya adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- 2) Membuat rangka untuk panel surya dengan memotong besi siku sesuai dengan ukuran dimensi panel surya yang akan digunakan.
- 3) Menyusun potongan besi siku kemudian dilakukan penyambungan dengan menggunakan baut dan mur sebagai penyangga dari panel surya.
- 4) Setelah menentukan sudut kemiringan rangkaian panel surya, selanjutnya mengukur dan memotong besi siku yang nantinya akan dijadikan sebagai kaki rangka.
- 5) Melakukan pemasangan terhadap kaki rangka dalam rangka untuk panel surya.
- 6) Membuat dinding pelindung pada sisi panel menggunakan tripleks sesuai ukuran kerangka sisi samping panel.
- 7) Setelah proses untuk rangka panel surya selesai, Langkah selanjutnya memasang penyangga untuk panel box sistem pembangkit listrik tenaga surya.
- 8) Merangkai rangkaian sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terdiri dari *solar charge controller* (SCC) dan baterai pada panel box.

3.6.3 Rangkaian untuk Bak Penampungan

- 1) Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
- 2) Membuat rangka untuk bak penampungan dengan memotong kaca akrilik sesuai dengan ukuran dimensi bak yang sudah ditetapkan.
- 3) Menyusun potongan kaca akrilik kemudian dilakukan penyambungan dengan menggunakan lem akrilik dan lem lilin.
- 4) Membuat rangkaian komponen *splash fill* dengan memotong sisa kaca akrilik sesuai dengan ukuran panjang bak.
- 5) Menyusun potongan akrilik tersebut kemudian dilakukan penyambungan didalam bak yang telah dibuat sesuai dengan ukuran bak yang diinginkan
- 6) Menyiapkan dan memotong kertas aluminium *bubble foil* sesuai dengan ukuran Panjang, lebar dan tinggi bak penampungan.
- 7) Menempelkan aluminium *bubble foil* pada bagian sisi bak penampungan air.

3.7 Prosedur Pengujian

Setelah tahap pembuatan dan perakitan selesai, maka akan dilanjutkan dengan pengujian alat dan pengambilan data. Pada tahap ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem pendingin pembangkit listrik tenaga surya ini apakah sudah dapat bekerja dengan baik atau tidak sesuai dengan fungsinya. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Menempatkan rancang bangun sistem pendingin panel surya dengan metode *splash fill cooling water* pada lokasi pengujian.
- 2) Menghubungkan rangkaian pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem pendingin.

3.8 Parameter yang diukur

Tabel 3.3 Parameter yang Diukur

No	Parameter	Simbol	Satuan	Keterangan
1.	Tegangan <i>Output</i> Panel Surya	V	V	Sensor Tegangan DC
2.	Arus <i>Output</i> Panel Surya	I	A	Sensor Arus
3.	Daya <i>Output</i> Panel Surya	P	W	Perhitungan Teoritis
4.	Tegangan <i>Output</i> Panel Pompa	V	V	Sensor Tegangan DC
5.	Arus <i>Output</i> Panel Pompa	I	A	Sensor Arus
6.	Daya <i>Output</i> Panel Pompa	P	W	Perhitungan Teoritis
7.	Temperatur	T	°C	DS18B20
8.	Intensitas Cahaya Matahari	G	W/m ²	<i>Solar Power Meter</i>



BAB 4

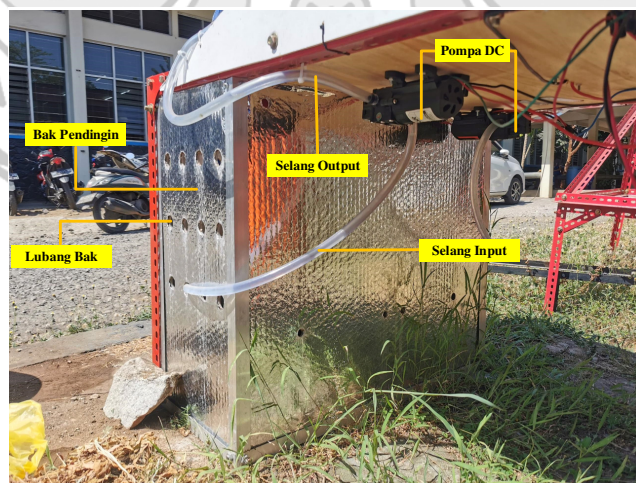
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan Sistem Pendingin Menggunakan *Splash Fill Cooling Water*

Gambar dibawah ini menunjukkan konstruksi dari panel surya yang menggunakan sistem pendingin *splash fill cooling water*.



Gambar 4.1 Konstruksi Penelitian



Gambar 4.2 Letak Pompa dan Bak Pendingin pada konstruksi panel yang menggunakan pendingin

4.2 Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan selama 2 hari dengan waktu mulai pengambilan data dan durasi pengambilan data yang sama dari hari ke hari. Dalam proses pengambilan data 2 hari, dilakukan pengujian selama 8 jam (08.00-17.00) dengan proses pengambilan dan pencatatan data dilakukan setiap 10 menit. Adapun parameter yang dicatat meliputi temperatur panel surya, temperatur air dalam bak penampungan, tegangan *output* panel, arus *output* panel, tegangan pompa, arus pompa dan intensitas cahaya matahari. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu panel dan suhu bak penampungan air adalah sensor suhu DS18B20 sedangkan untuk, arus dan tegangan menggunakan sensor tegangan dan sensor arus (ACS712) dan untuk pengukuran radiasi matahari menggunakan Solar Power Meter.

Tabel hasil pengamatan pada tanggal 28-29 Agustus 2023 dapat dilihat pada Lampiran A-1 dan Lampiran A-2 pada halaman 80-85.

4.3 Analisa Data

4.3.1 Perhitungan Data Panel Surya

Berdasarkan spesifikasi panel pada Tabel 2.1 halaman 6, maka didapatkan luas panel:

$$A_{pv} = 1,03m \times 0,67m = 0,69m^2$$

4.3.2 Perhitungan Efisiensi

1. Panel surya dengan sistem pendingin

Berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan dalam penelitian ini maka untuk menghitung efisiensi dari panel surya, diambil contoh perhitungan pada Lampiran A-1 menggunakan data pada pukul 14.10:

$$\begin{array}{ll}
 G & = 891,4 \text{ W/m}^2 & T_{PV} & = 36,76 \text{ }^\circ\text{C} \\
 V_{PV} & = 21,94 \text{ V} & V_{Pompa} & = 12,68 \text{ V} \\
 I_{PV} & = 3,11 \text{ A} & I_{Pompa} & = 2,05 \text{ A}
 \end{array}$$

Berdasarkan persamaan (2.1) untuk menghitung daya *input* panel (P_{in}) maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= G \times A \\
 &= 891,4 \times 0,69 \\
 &= 615,07 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.2) untuk menghitung daya *output* panel (P_{out}) maka didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V_{PV} \times I_{PV} \\
 &= 21,94 \times 3,11 \\
 &= 68,23 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai daya pompa yaitu diperkalian antara Tegangan pompa (V_{Pompa}) dengan Arus pompa (I_{Pompa}), maka didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_{Pompa} &= V_{Pompa} \times I_{Pompa} \\
 &= 12,68 \times 2,05 \\
 &= 26 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan hasil akhri nilai efisiensi panel dengan sistem pendingin (η_{PV}) yaitu dengan mengurangi nilai daya *output* panel (P_{out}) dengan Daya Pompa (P_{Pompa}). Berdasarkan persamaan (2.3) untuk menghitung efisiensi panel surya (η_{PV}) maka diperoleh:

$$\begin{aligned}\eta_{PV} &= \frac{P_{out} - P_{pompa}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{68,23 - 26}{615,07} \times 100\% \\ &= 6,87\%\end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat pada Lampiran A-3 dan A-4 pada halaman 86-88.

2. Panel surya tanpa sistem pendingin

Berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan dalam penelitian ini maka untuk menghitung efisiensi dari panel surya, diambil contoh perhitungan pada Lampiran A-1 menggunakan data pada pukul 14.10:

$$V = 18,06 \text{ V}$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$T_{PV} = 60,53 \text{ }^\circ\text{C}$$

Berdasarkan persamaan (2.2) untuk menghitung daya *output* (P_{out}) maka diperoleh:

$$\begin{aligned}P_{out} &= V_{PV} \times I_{PV} \\ &= 18,06 \times 1 \\ &= 18,06 \text{ W}\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.3) untuk menghitung efisiensi panel surya (η_{PV}) maka didapatkan:

$$\begin{aligned}\eta_{PV} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{18,06}{615,07} \times 100\% \\ &= 2,94 \%\end{aligned}$$

Dari hasil analisa diatas membuktikan bahwa temperatur panel surya berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh panel. Dimana, semakin tinggi temperatur pada panel maka efisiensi yang dihasilkan oleh panel itu menurun. Begitupun dengan sebaliknya, jika temperatur pada panel rendah, maka efisiensi yang dihasilkan oleh panel itu tinggi. Untuk hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat pada Lampiran A-3 dan A-4 pada halaman 86-88.

4.3.3 Perpindahan Panas

Berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan dalam penelitian ini, maka untuk menghitung perpindahan panas dari panel surya yang menggunakan sistem pendingin, diambil contoh perhitungan pada tabel Lampiran A-6 halaman 89 menggunakan data pada hari senin, 28 Agustus 2023:

$$\begin{aligned} T_{pv} &= 36,62 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_{air} &= 35,44 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ C &= 4186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \text{ (Novrinaldi, 2008)} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.4) untuk menghitung perpindahan panas panel surya dengan menggunakan sistem pendingin (Q) maka didapatkan:

$$Q = \dot{m} \times C \times (\Delta T)$$

Untuk mendapatkan nilai laju aliran massa air (\dot{m}), dilakukan pengujian kecepatan air pada permukaan panel. Dari pengujian tersebut maka didapatkan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_{air} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ t_{air} &= 0,54 \text{ s} \\ S_{air} &= 0,997 \text{ m} \\ A_{lubang \ nozzle} &= 0,00000176715 \text{ m}^2 \\ n_{lubang \ nozzle} &= 79 \text{ lubang} \end{aligned}$$

Dari data-data tersebut, maka dapat digunakan dalam persamaan (2.4) untuk mendapatkan penurunan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m} \times C \times (\Delta T) \\
 &= \rho \times V \times A \times n \times C \times (\Delta T) \\
 &= \rho \times \frac{S_{air}}{t_{air}} \times A_{Lubang\ Nozzle} \times n_{lubang\ nozzle} \times C \times (\Delta T) \\
 &= 1000 \times \frac{0,997}{0,54} \times 0,00000176715 \times 79 \times 4186 \times (36,62-35,44) \\
 &= 1273,16\text{ J}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat pada Lampiran A-7 pada halaman 90.

4.3.4 Perhitungan Energi *Output* (Wh)

Untuk mengetahui jumlah energi *output* yang dihasilkan dalam satuan waktu (jam) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut, contoh perhitungan diambil data pada Lampiran Tabel A-5 pada halaman 89:

1. Energi panel surya dengan sistem pendingin

Untuk mendapatkan hasil akhir perhitungan energi pada panel surya yang menggunakan sistem pendingin, maka diselisihkan antara energi panel surya menggunakan pendingin selama 1 hari beroperasi dengan energi pompa selama saat pompa beroperasi dalam 1 hari. Berikut energi panel surya menggunakan sistem pendingin dengan contoh perhitungan pada Lampiran Tabel A-5 menggunakan data pada hari senin, 28 Agustus 2023:

$$\begin{aligned}
 P_{pv} &= 43,19\text{ W} \\
 P_{pompa} &= 26,1\text{ W} \\
 Waktu_{pv} &= 8\text{ jam} \\
 Waktu_{pompa} &= 4,43\text{ jam}
 \end{aligned}$$

- $E_{PV} = P_{PV} \times waktu_{PV}$
 $= 43,19 \times 8$
 $= 345,52 Wh$

- $E_{pompa} = P_{pompa} \times waktu_{pompa}$
 $= 26,1 \times 4,43$
 $= 115,62 Wh$

Maka, energi yang didapatkan oleh panel surya dengan system pendingin pada tanggal 28 Agustus 2023 yaitu:

- $E_{DP} = E_{PV} - E_{pompa}$
 $= 345,52 - 115,62$
 $= 229,9 Wh$

2. Energi panel surya tanpa sistem pendingin

Untuk mendapatkan hasil akhir perhitungan energi pada panel surya tanpa menggunakan sistem pendingin, maka hanya menggunakan perhitungan jumlah daya panel surya selama 1 hari beroperasi. Berikut energi panel surya tanpa menggunakan sistem pendingin dengan contoh perhitungan pada Lampiran Tabel A-5 menggunakan data pada hari senin, 28 Agustus 2023:

Diketahui:

$$P_{PV} = 16,35 W$$

$$Waktu_{PV} = 8 \text{ jam}$$

- $E_{TP} = P_{PV} \times waktu_{PV}$
 $= 16,35 \times 8$
 $= 130,8 Wh$

Sehingga peningkatan energi yang dihasilkan oleh panel surya pada tanggal 28 Agustus 2023 selama 1 hari adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Peningkatan Energi}(Wh) &= \text{Energi panel DP} - \text{Energi Panel TP} \\
 &= 229,9 - 130,8 \\
 &= 99,1 Wh
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat pada Lampiran Tabel A-7 pada halaman 90

4.3.5 Persentase penurunan Temperatur

Dalam mendapat persentase penurunan temperatur antara panel dengan sistem pendingin dan panel tanpa sistem pendingin, maka dilakukan perhitungan dengan contoh data perhitungan pada Lampiran A-6 pada halaman 89 menggunakan data pada hari senin, 28 Agustus 2023:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{T_{awal} - T_{akhir}}{T_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{57,02 - 36,62}{57,02} \times 100\% \\
 &= 35,78\%
 \end{aligned}$$

4.3.6 Persentase Peningkatan Daya *output*, dan Efisiensi

1. Peningkatan Daya *output*

Dalam mendapat persentase peningkatan daya *output* antara panel dengan sistem pendingin dan panel tanpa sistem pendingin, maka dilakukan perhitungan dengan contoh data perhitungan pada Lampiran A-6 pada halaman 89 menggunakan data pada hari senin, 28 Agustus 2023:

$$= \frac{P_{akhir} - P_{awal}}{P_{akhir}} \times 100\%$$

$$= \frac{43,19 - 16,35}{43,19} \times 100\%$$

$$= 62,14\%$$

2. Peningkatan Efisiensi

Dalam mendapat persentase peningkatan efisiensi antara panel dengan sistem pendingin dan panel tanpa sistem pendingin, maka dilakukan perhitungan dengan contoh data perhitungan pada Lampiran A-6 pada halaman 89 menggunakan data pada hari senin, 28 Agustus 2023:

$$= \eta_{akhir} - \eta_{awal}$$

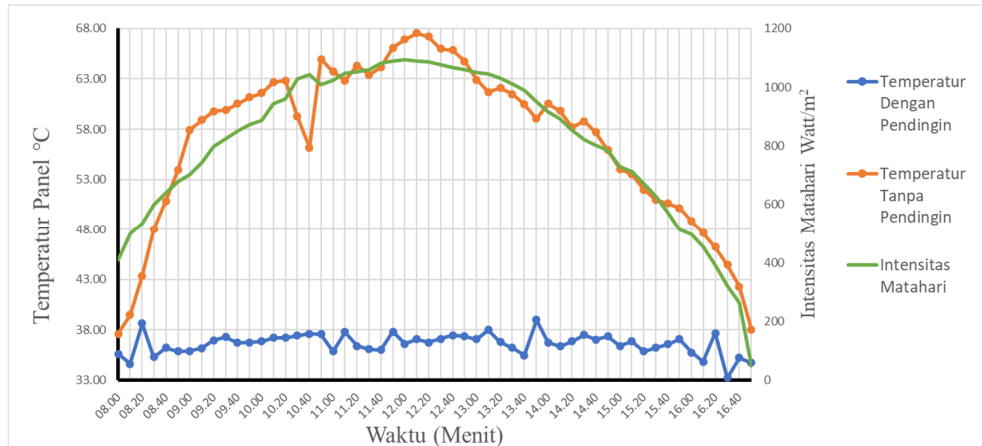
$$= 7,89 - 4,76$$

$$= 3,13\%$$

Untuk hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat pada Lampiran A-7 pada halaman 90.

4.4 Grafik dan Pembahasan

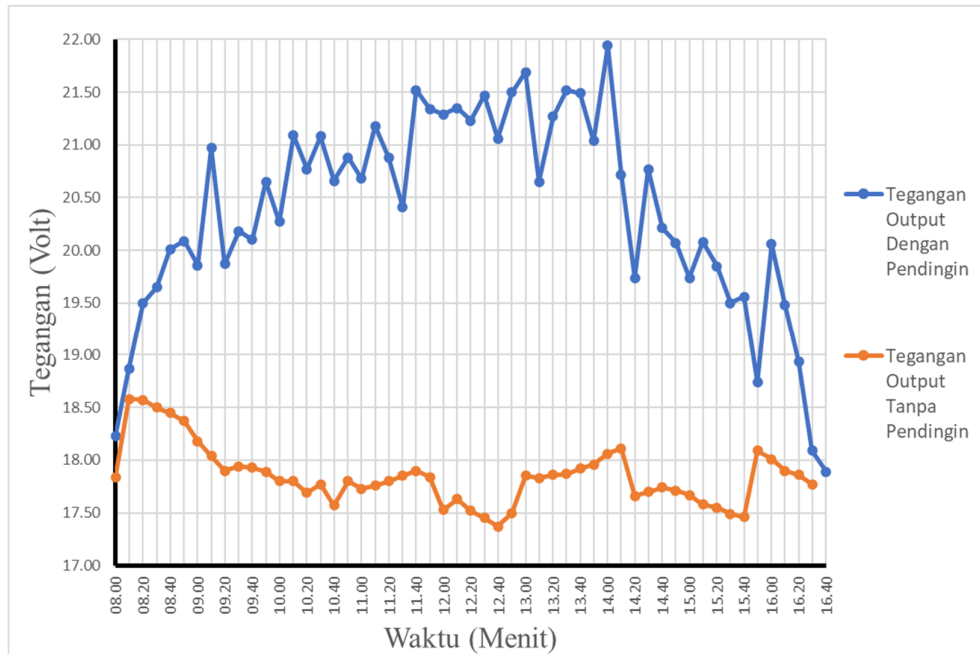
4.4.1 Pengujian pada tanggal 28 Agustus 2023



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Waktu terhadap Temperatur Permukaan Panel Surya

Gambar 4.3 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan temperatur permukaan panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Temperatur rata-rata dari panel surya yang menggunakan pendingin sebesar $36,62^{\circ}\text{C}$ sedangkan yang tidak menggunakan pendingin sebesar $57,02^{\circ}\text{C}$. Jadi penurunan temperatur rata-rata jika dipresentasikan adalah sebesar $35,78\%$. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa panel dalam kondisi tanpa sistem pendingin, suhu panel surya cenderung meningkat saat menjelang siang, dan akan cenderung menurun saat menjelang sore. Hal ini terjadi karena saat menjelang siang hari intensitas cahaya matahari naik mengakibatkan temperatur sekitar tinggi, dan akan kembali menurun saat menjelang sore karena intensitas cahaya matahari berkurang. Sedangkan, pada panel surya dengan sistem pendingin, suhu panel surya tetap relatif stabil karena

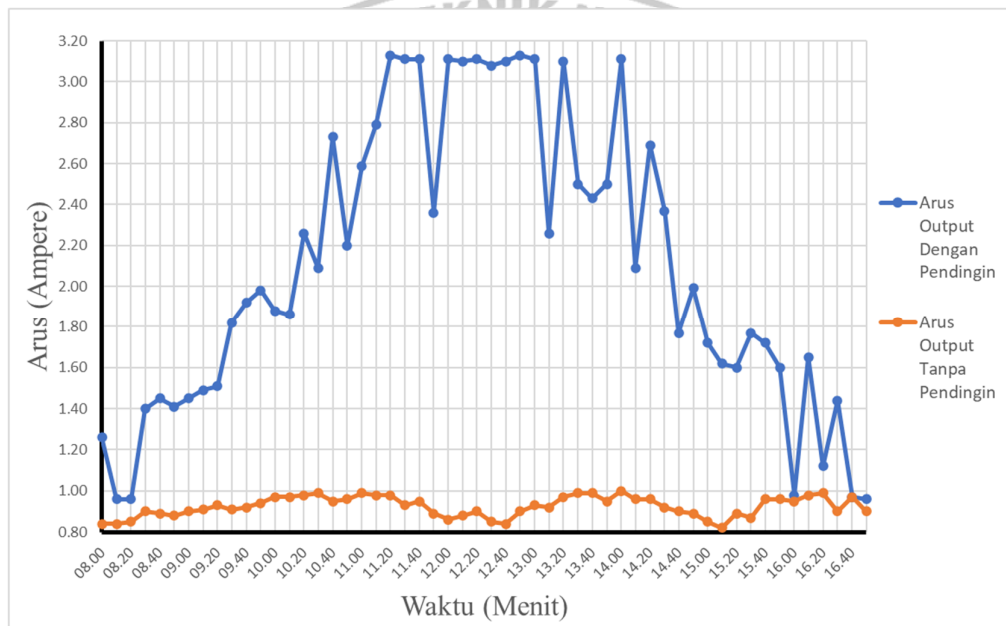
sistem pendingin panel berupa air berhasil menjangkau seluruh bagian panel sehingga dapat mengendalikan suhu pada panel surya tetap stabil.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tegangan *Output* Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.4 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan tegangan keluaran panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan keluaran panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Nilai tegangan tertinggi dan terendah yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin adalah 21,94 V dan 18,09 V, Sedangkan untuk panel surya tanpa pendingin sebesar 18,58 V dan 17,37 V, Adapun tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 20,25 V dan 17,70 V. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa tegangan pada panel dengan sistem pendingin mengalami

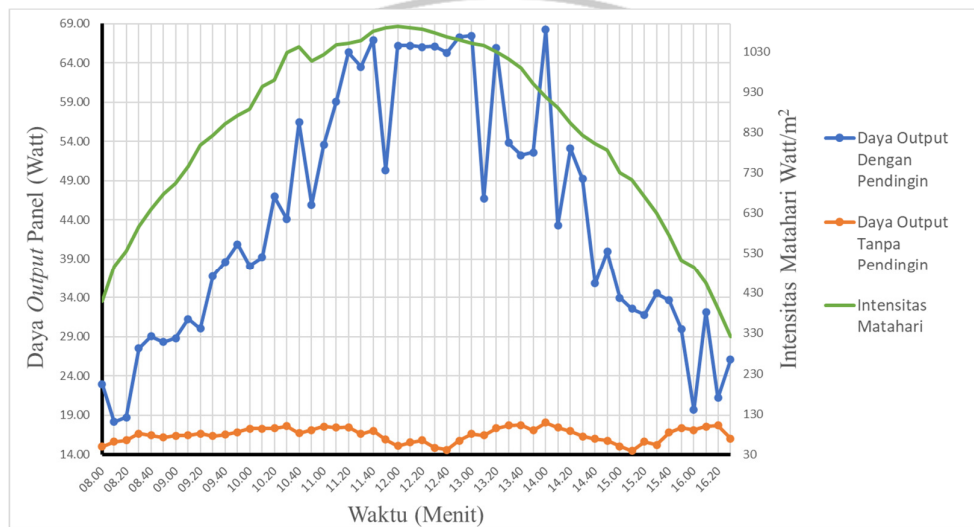
fluktuatif sepanjang panel beroperasi. Ini disebabkan karena adanya peningkatan tegangan panel saat pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun saat pompa berhenti. Adapun tegangan pada panel tanpa sistem pendingin juga mengalami fluktuatif dikarenakan oleh nilai intensitas cahaya matahari serta temperatur pada panel yang berubah-ubah.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Arus *Output* Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.5 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan arus keluaran panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa arus yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin hal ini disebabkan beban yang digunakan pada panel surya dengan pendingin lebih besar. Nilai arus pada panel dengan pendingin mengalami fluktuatif disebabkan karena adanya peningkatan arus panel saat beban pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun saat pompa berhenti. Sedangkan

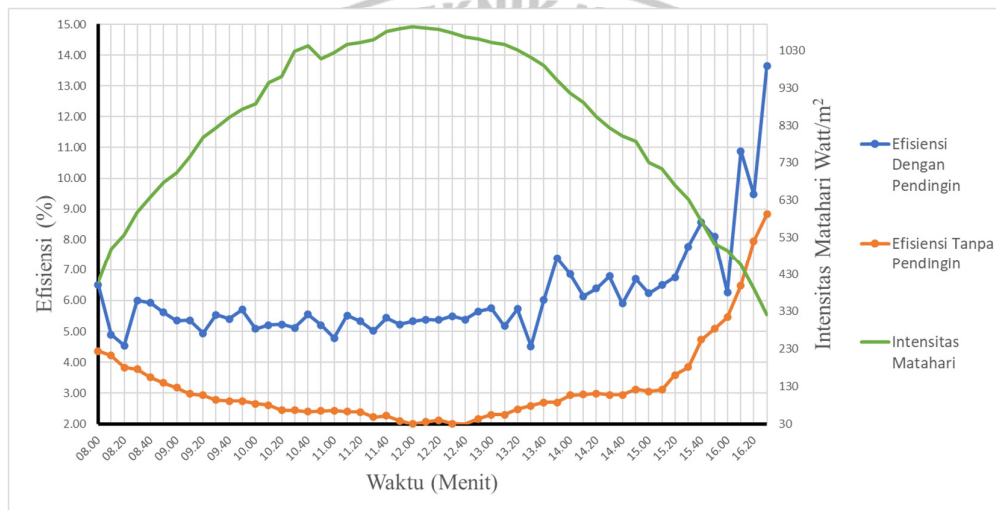
untuk arus pada panel tanpa pendingin hampir bernilai konstan karena hanya menggunakan beban konstan lampu DC 3Watt. Pada pukul 12.10-13.10, nilai arus pada panel dengan pendingin sempat stabil dikarenakan saat pengambilan data pompa beroperasi tanpa berhenti. Adapun rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 2,10A dan 0,92A.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Daya *Output* terhadap Waktu

Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Rata-rata daya output yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin sebesar 43,19 W dan tanpa pendingin sebesar 16,35 W. Adapun nilai daya yang dihasilkan oleh panel dengan pendingin bersifat fluktuatif disebabkan karena adanya peningkatan daya panel saat pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun

saat pompa berhenti. Sedangkan nilai daya yang dihasilkan panel tanpa pendingin juga bersifat fluktuatif dikarenakan nilai intensitas cahaya matahari serta temperatur pada panel yang berubah-ubah. Pada pukul 12.10-13.10, nilai daya pada panel dengan pendingin sempat stabil dikarenakan saat pengambilan data pompa beroperasi tanpa berhenti.

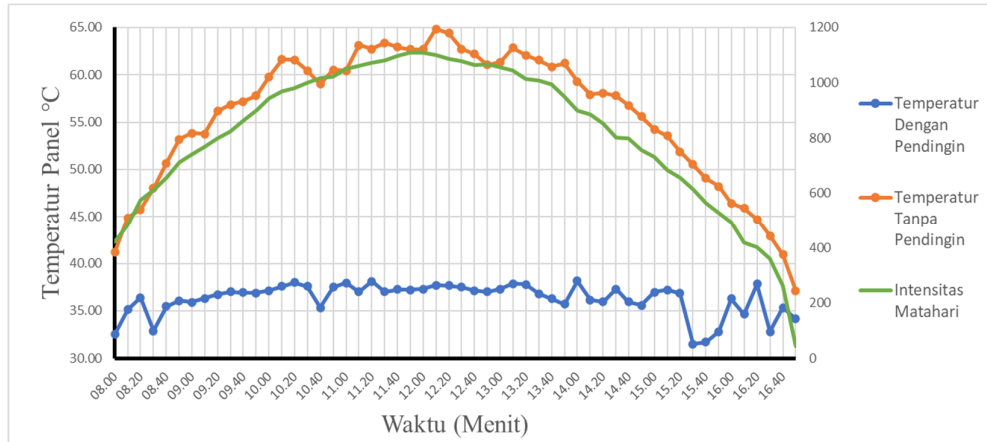


Gambar 4.7 Grafik Hubungan Efisiensi Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.7 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin dengan waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Adapun efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin cenderung mengalami fluktuatif hal ini disebabkan adanya peningkatan daya panel saat pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun saat pompa berhenti. Sedangkan nilai efisiensi yang dihasilkan panel tanpa pendingin juga bersifat fluktuatif

dikarenakan nilai intensitas cahaya matahari serta temperatur pada panel yang berubah-ubah. Rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 7,89% dan 4,76%.

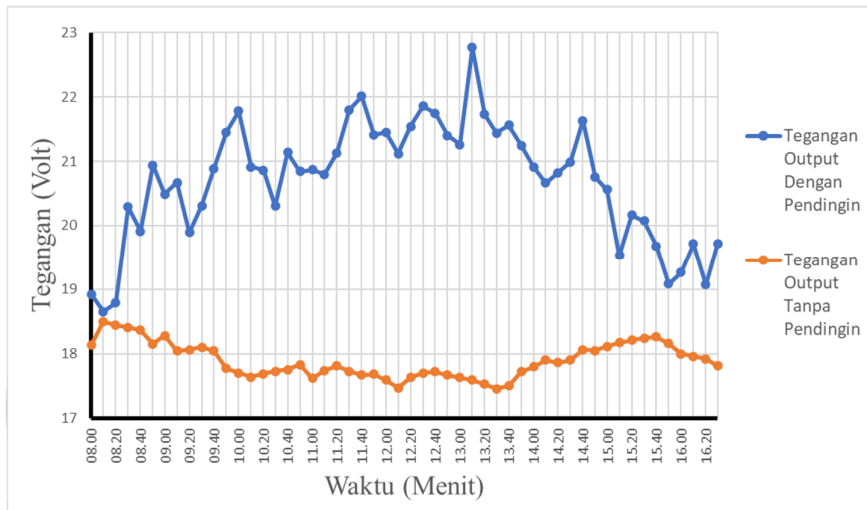
4.4.2 Pengujian pada tanggal 29 Agustus 2023



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Waktu terhadap Temperatur Permukaan Panel Surya

Gambar 4.8 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan temperatur permukaan panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Temperatur rata-rata dari panel surya yang menggunakan pendingin sebesar 36,27°C sedangkan yang tidak menggunakan pendingin sebesar 55,86°C. Jadi penurunan temperatur rata-rata jika dipresentasikan adalah sebesar 35,07%. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa panel dalam kondisi tanpa sistem pendingin, suhu panel surya cenderung meningkat saat menjelang siang, dan akan cenderung menurun saat menjelang sore. Hal ini terjadi karena saat menjelang siang hari intensitas cahaya matahari naik mengakibatkan temperatur sekitar tinggi, dan akan kembali menurun

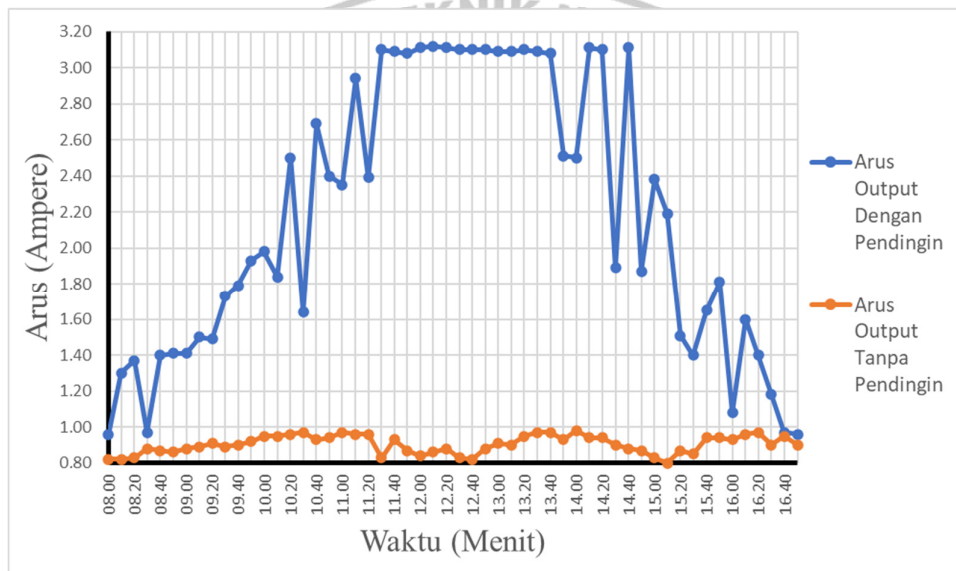
saat menjelang sore karena intensitas cahaya matahari berkurang. Sedangkan, pada panel surya dengan sistem pendingin, suhu panel surya tetap relatif stabil karena sistem pendingin panel berupa air berhasil menjangkau seluruh bagian panel sehingga dapat mengendalikan suhu pada panel surya tetap stabil.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Tegangan *Output* Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.9 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan tegangan keluaran panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan keluaran panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Nilai tegangan tertinggi dan terendah yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin adalah 22,77 V dan 18,65 V, Sedangkan untuk panel surya tanpa pendingin sebesar 18,50 V dan 17,46 V, Adapun tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 20,54 V dan 17,73 V. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa tegangan pada panel dengan sistem pendingin mengalami

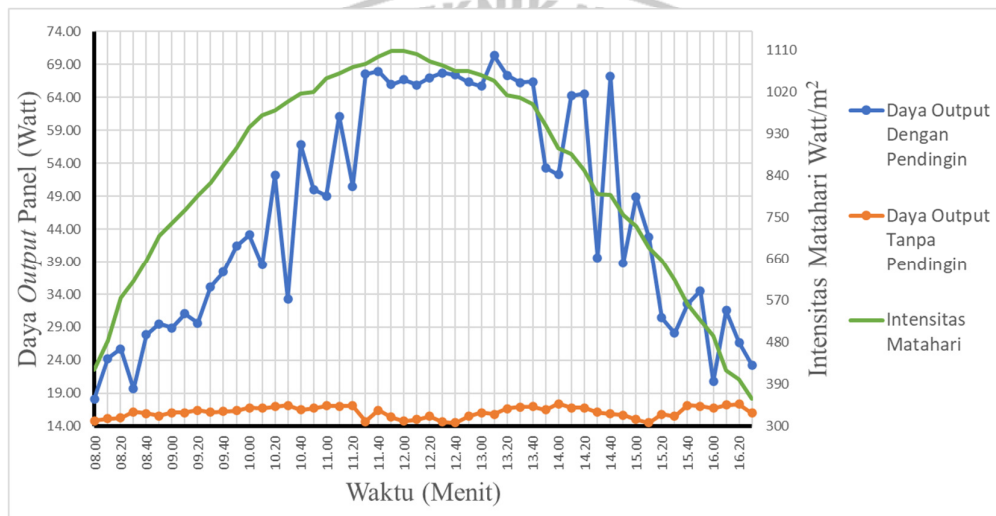
fluktuatif sepanjang panel beroperasi. Ini disebabkan karena adanya peningkatan tegangan panel saat pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun saat pompa berhenti. Adapun tegangan pada panel tanpa sistem pendingin juga mengalami fluktuatif dikarenakan oleh nilai intensitas cahaya matahari serta temperatur pada panel yang berubah-ubah.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Arus *Output* Panel terhadap Waktu

Gambar 4.10 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan arus keluaran panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa arus yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin hal ini disebabkan beban yang digunakan pada panel surya dengan pendingin lebih besar. Nilai arus pada panel dengan pendingin mengalami fluktuatif disebabkan karena adanya peningkatan arus panel saat beban pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun saat pompa berhenti. Sedangkan

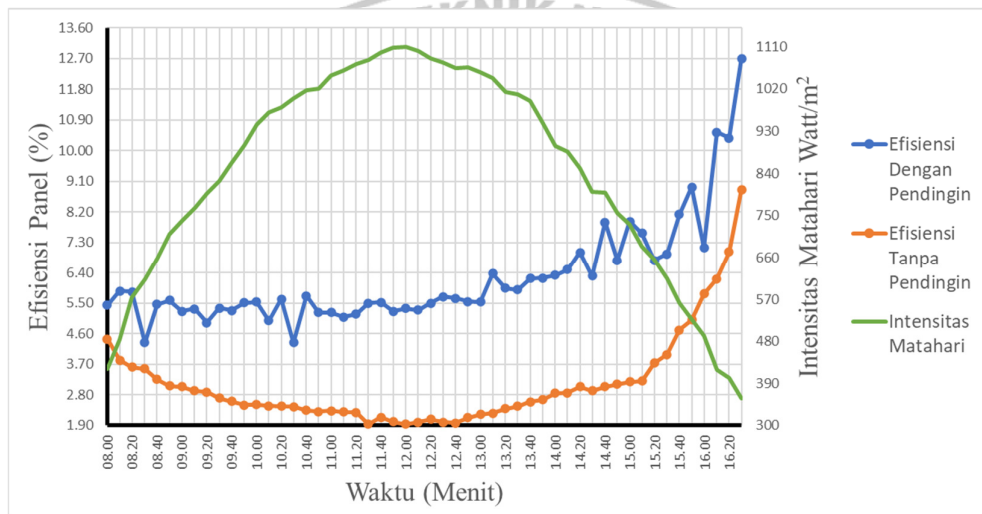
untuk arus pada panel tanpa pendingin hampir bernilai konstan karena hanya menggunakan beban konstan lampu DC 3Watt. Pada pukul 14.40-13.50, nilai arus pada panel dengan pendingin sempat stabil dikarenakan saat pengambilan data pompa beroperasi tanpa berhenti. Adapun rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 2,18A dan 0,90A.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Daya *Output* terhadap Waktu

Gambar 4.11 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Rata-rata daya output yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin sebesar 45,43 W dan tanpa pendingin sebesar 16,01 W. Adapun nilai daya yang dihasilkan oleh panel dengan pendingin bersifat fluktuatif disebabkan karena adanya peningkatan daya panel saat pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun

saat pompa berhenti. Sedangkan nilai daya yang dihasilkan panel tanpa pendingin juga bersifat fluktuatif dikarenakan oleh nilai intensitas cahaya matahari serta temperatur pada panel yang berubah-ubah. Pada pukul 11.40-13.50, nilai daya pada panel dengan pendingin sempat stabil dikarenakan saat pengambilan data pompa beroperasi tanpa berhenti.



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Efisiensi Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.12 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin dengan waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Adapun efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin cenderung mengalami fluktuatif hal ini disebabkan adanya peningkatan daya panel saat pompa menyala untuk mendinginkan panel, dan akan kembali menurun saat pompa berhenti. Sedangkan nilai efisiensi panel tanpa pendingin juga bersifat fluktuatif dikarenakan oleh nilai

intensitas cahaya matahari serta temperatur pada panel yang berubah-ubah. Rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 8,15% dan 4,71%.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

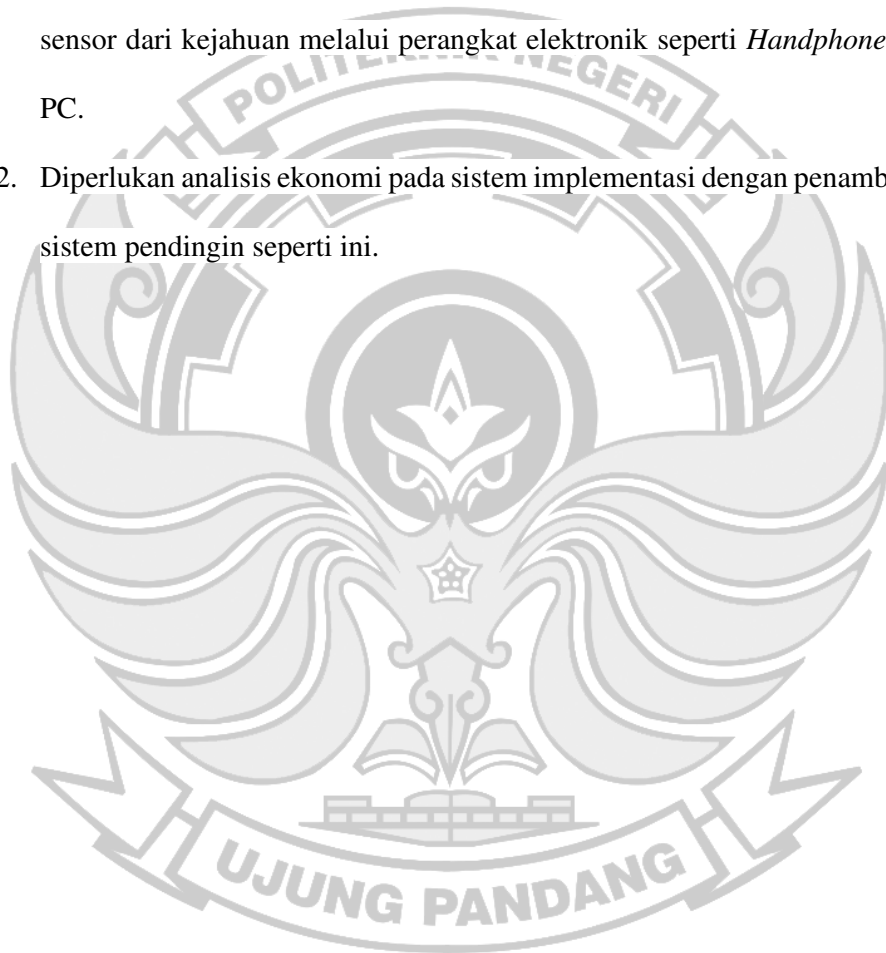
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan sistem pendingin panel surya dengan metode *splash fill cooling water* menunjukkan bahwa sistem pendingin mampu menjaga kinerja panel surya karena, temperatur rata-rata panel menggunakan air sebagai pendingin antara 36,27°C sampai 36,62°C dan untuk panel surya tanpa pendingin menghasilkan temperatur rata-rata sekitar 55,86°C sampai 57,02°C. Dengan penambahan sistem pendingin berupa penyemprotan air pada permukaan panel surya, temperatur permukaan panel surya yang dapat diturunkan dengan rata-rata 19,59°C sampai 20,40°C atau antara 35,07% sampai 35,78%
2. Daya *output* yang dihasilkan oleh panel yang menggunakan air sebagai pendingin berkisar antara 43,19W sampai 45,43W. Sedangkan panel tanpa air sebagai pendingin menghasilkan daya output berkisar antara 16,01W sampai 16,35W. Sedangkan untuk efisiensi rata-rata yang dihasilkan panel surya yang menggunakan air sebagai pendingin berkisar antara 7,89% sampai 8,15% dan untuk panel surya tanpa menggunakan air sebagai pendingin berkisar antara 4,71% sampai 4,76%. Dengan pendingin panel surya dengan metode *splash fill cooling water* dapat meningkatkan rata-rata daya output sebesar 26,84W sampai 29,42W atau berkisar antara 62,14%

sampai 64,76% dan peningkatan efisiensi rata-rata sebesar yang diperoleh adalah sebesar 3,13% sampai 3,44%.

5.2 Saran

1. Pengembangan penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan sistem data logger (*Internet of Things*) dalam memonitoring data-data pembacaan sensor dari kejahatan melalui perangkat elektronik seperti *Handphone* atau PC.
2. Diperlukan analisis ekonomi pada sistem implementasi dengan penambahan sistem pendingin seperti ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Putri, M., Iriani, J., Hulu, F. N., dan Cholish. 2023. **Sistem Pendingin Permukaan Panel Dalam Optimalisasi kerja Panel Surya dengan Monitoring Internet of Things**. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) Vol. 6, No. 1*, 61-67. Diakses pada tanggal 28 September 2023.
- Almanda, D., dan Bhaskara, D. 2018. **Studi Pemilihan Sistem Pendingin pada Panel Surya Menggunakan Water Cooler, Air Mineral dan Air Laut**. *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmputeR)*, Vol. 1 No. 2, 43-52. Diakses pada tanggal 30 Januari 2023.
- Almanda, D., dan Piliang, B. P. 2019. **Perbandingan Sistem Pendingin pada Konsentrasi Water Coolant, Air Mineral, dan Air Laut Menggunakan Panel Surya Fleksibel Monocrystalline 20 WP**. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, Vol. 2 No. 2, 73-82. Diakses pada tanggal 27 September 2023.
- Asy'ari, H., Jatmiko, dan Angga. 2012. **Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya**. *Simposium Nasional*, 52-57. Diakses pada tanggal 2 Februari 2023.
- Dahliyah, Samsulrizal, dan Pasra, N. 2021. **Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu dan Kecepatan Angin**. *Jurnal Ilmiah SUTET*, Vol. 11, No. 2, 71-80. Diakses pada tanggal 31 Januari 2023.
- Harafany, D. S., Prasetya, S., dan Sukandi, A. 2021. **Perbandingan Efisiensi Panel Surya dengan Pemanfaatan Heatsink dan Pengaruh Instalasi Sensor pada Panel Surya**. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 260-269. Diakses pada tanggal 30 Januari 2023.
- Hariyanto, S. 2021. **Rancang Bangun Reflector untuk Mengoptimalkan Daya Serap Matahari Pada Panel Surya Dengan Variasi Sudut Guna Menghasilkan Daya Optimal**. *Jurnal Ilmiah TELSINAS*, Vol 4, No. 1, 41-45. Diakses pada tanggal 30 Januari 2023.
- Janna, N. M., dan Widodo, D. A. 2021. **Analisis Karakteristik Modul Panel Surya dengan Sistem Pendingin Air**. *Jurnal Fokus Elektroda*, Vol 06, No 01, 37-42. Diakses pada tanggal 31 Januari 2023.
- Laksana, E. P., Sanjaya, O., Sujono, Broto, S., dan Fath, N. 2022. **Sistem Pendinginan Panel Surya dengan Metode Penyemprotan Air dan Pengontrolan Suhu Air menggunakan Peltier**. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, Vol. 10 No. 3, 652-663. Diakses pada tanggal 30 Januari 2023.
- Loegimin, M. S., Sumantri, B., Nugroho, M. A., dan Windarko, H. N. 2020. **Sistem Pendinginan Air untuk Panel Surya dengan Metode Fuzzy Logic**. *Jurnal Integrasi*, Vol. 12 No. 1, 21-30. Diakses pada tanggal 30 Januari 2023.

- Mineral, K. E. (2019, Juni 19). *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*. Retrieved Februari 5, 2023, from Matahari Untuk PLTS di Indonesia: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia#:~:text=Potensi>.
- Novrinaldi, dan Hanifah, U. 2008. **Desain dan Perancangan Tempering Machine Pasta Coklat Kapasitas 20 kg**. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 17-18. Diakses pada tanggal 10 September 2023.
- Pawawoi, A., dan Zulfahmi. 2019. **Penambahan Sistem Pendingin Heatsink untuk Optimasi Penggunaan Reflektor pada Panel Surya**. *Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol. 8, No. 1*, 1-7. Diakses pada tanggal 29 Januari 2023.
- Putra, M. P., dan Arsianti, R. W. 2021. **Sistem Pendingin Menggunakan Air untuk Optimasi Kinerja Panel Surya Berbasis Arduino**. *J-Eltrik, Vol. 3, No. 1*, 40-47. Diakses pada tanggal 29 Januari 2023.
- Sanjaya, P. G., Partha, C. G., dan Khrisne, D. C. 2017. **Rancang Bangun Sistem Data Logger Berbasis Visual pada Solar Cell**. *Teknologi Elektro, Vol. 16, No.03*, 114-121. Diakses pada tanggal 31 Januari 2023.
- Saputra, E., Purwanto, D., Rahim, S. R., dan Bakhtiar, A. I. 2022. **Peningkatan Performa Panel Surya dengan Sistem Pendingin untuk Mereduksi Panas Permukaan**. *Jurnal Media Mesin, Vol.23 No.1*, 28-35. Diakses pada tanggal 29 Januari 2023.
- Tarigan, A. D., dan Hamdani. 2020. **Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya**. *SEMNASTEK UISU*, 121-127. Diakses pada tanggal 27 September 2023.
- UHSG, T., Lubis, Z., dan Sitorus, T. B. 2016. **Analisa Kinerja Sistem Pendingin Peltier yang Menggunakan Sel PV dengan Sumber Energi Radiasi Matahari**. *Jurnal Energi dan Manufaktur, Vol. 9 No. 2*, 166-173. Diakses pada tanggal 31 Januari 2023.
- Warsito, A., Adriono, E., Nugroho, M. Y., Oding, dan Winardi, B. 2013. **Dipo Pv Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan**. *TRANSIENT, Vol.2, No. 499-503*.
- Widodo, S. B., Hamdani, dan Syaputra, P. H. 2014. **Kaji Eksperimental Penggunaan Sirip pada Pendinginan Panel PV Menggunakan**. *Jurnal Ilmiah Jurutera, Vol.01 No.02*, 72-80. Diakses pada tanggal 30 Januari 2023.
- Farhana, Z., Irwan, Y., Azimmi, R., Razliana, A., and Gomesh, N. 2012. **Experimental Investigation of Photovoltaic Modules Cooling System**. *IEEE Symposium on Computers & Informatics*, 165. Diakses pada tanggal 31 Januari 2023

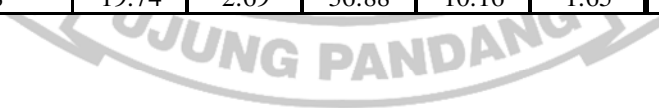
The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a banner reads "POLITEKNIK NEGERI". The center features a stylized eagle with spread wings, a five-pointed star on its chest, and an open book below it. At the bottom, another banner reads "UJUNG PANDANG".

LAMPIRAN

Lampiran A-1 Tabel data hasil pengamatan PLTS dengan pendingin dan tanpa pendingin (Senin, 28 Agustus 2023)

NO.	Jam	Panel Dengan Pendingin						Panel Tanpa Pendingin		
		Intensitas Cahaya (W/m ²)	V Panel V	I Panel A	T Panel °C	V Pompa V	I Pompa A	V Panel V	I Panel A	T Panel °C
1	08.00	410.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	08.10	497.8	18.23	1.26	35.61	1.96	0.31	17.84	0.84	37.60
3	08.20	536.2	18.87	0.96	34.62	0.00	0.00	18.58	0.84	39.48
4	08.30	598	19.50	0.96	38.65	0.00	0.00	18.57	0.85	43.35
5	08.40	638.8	19.65	1.40	35.32	2.54	0.41	18.50	0.90	48.00
6	08.50	677.9	20.01	1.45	36.24	2.86	0.46	18.45	0.89	50.86
7	09.00	703.4	20.09	1.41	35.87	2.61	0.42	18.37	0.88	53.95
8	09.10	745.4	19.86	1.45	35.91	2.85	0.46	18.18	0.90	57.94
9	09.20	798.5	20.97	1.49	36.20	3.26	0.53	18.04	0.91	58.90
10	09.30	823.9	19.87	1.51	36.97	3.44	0.56	17.90	0.93	59.78
11	09.40	851.1	20.18	1.82	37.30	5.09	0.83	17.94	0.91	59.89
12	09.50	872.6	20.10	1.92	36.72	6.18	0.98	17.93	0.92	60.53
13	10.00	888	20.65	1.98	36.77	6.05	0.99	17.89	0.94	61.16
14	10.10	944	20.27	1.88	36.87	5.54	0.90	17.80	0.97	61.59
15	10.20	959.6	21.09	1.86	37.22	5.41	0.88	17.80	0.97	62.67
16	10.30	1028	20.77	2.26	37.22	7.82	1.26	17.69	0.98	62.83
17	10.40	1042	21.08	2.09	37.45	6.68	1.09	17.77	0.99	59.26
18	10.50	1008	20.66	2.73	37.61	10.49	1.70	17.57	0.95	56.19
19	11.00	1024	20.88	2.20	37.57	7.50	1.22	17.80	0.96	64.95
20	11.10	1047	20.68	2.59	35.89	10.88	1.75	17.73	0.99	63.72

Panel Dengan Pendingin								Panel Tanpa Pendingin		
NO.	Jam	Intensitas Cahaya	V Panel	I Panel	T Panel	V Pompa	I Pompa	V Panel	I Panel	T Panel
		(W/m ²)	V	A	°C	V	A	V	A	°C
21	11.20	1052	21.18	2.79	37.80	10.83	1.76	17.76	0.98	62.85
22	11.30	1059	20.88	3.13	36.39	12.77	2.07	17.80	0.98	64.34
23	11.40	1081	20.41	3.11	36.10	12.72	2.05	17.85	0.93	63.42
24	11.50	1089	21.52	3.11	36.02	12.74	2.05	17.90	0.95	64.15
25	12.00	1093	21.34	2.36	37.83	8.26	1.33	17.84	0.89	66.08
26	12.10	1090	21.29	3.11	36.61	12.72	2.05	17.53	0.86	66.92
27	12.20	1086	21.35	3.10	37.07	12.69	2.04	17.63	0.88	67.54
28	12.30	1077	21.23	3.11	36.76	12.71	2.05	17.52	0.90	67.19
29	12.40	1067	21.47	3.08	37.12	12.68	2.02	17.45	0.85	65.99
30	12.50	1060	21.06	3.10	37.46	12.70	2.04	17.37	0.84	65.85
31	13.00	1051	21.50	3.13	37.37	12.73	2.07	17.50	0.90	64.76
32	13.10	1046	21.69	3.11	37.09	12.71	2.05	17.85	0.93	62.90
33	13.20	1031	20.65	2.26	38.00	7.82	1.26	17.83	0.92	61.71
34	13.30	1012	21.27	3.10	36.81	12.70	2.04	17.86	0.97	62.11
35	13.40	989	21.52	2.50	36.22	11.88	1.93	17.87	0.99	61.50
36	13.50	951.6	21.49	2.43	35.47	9.00	1.41	17.92	0.99	60.45
37	14.00	917.4	21.04	2.50	39.00	5.99	0.97	17.96	0.95	59.05
38	14.10	891.4	21.94	3.11	36.76	12.68	2.05	18.06	1.00	60.53
39	14.20	853.1	20.72	2.09	36.36	6.67	1.08	18.11	0.96	59.84
40	14.30	822.8	19.74	2.69	36.88	10.16	1.65	17.66	0.96	58.19



		Panel Dengan Pendingin						Panel Tanpa Pendingin		
NO.	Jam	Intensitas Cahaya	V Panel	I Panel	T Panel	V Pompa	I Pompa	V Panel	I Panel	T Panel
		(W/m ²)	V	A	°C	V	A	V	A	°C
41	14.40	802.3	20.77	2.37	37.49	8.47	1.37	17.70	0.92	58.79
42	14.50	786.4	20.21	1.77	37.06	4.77	0.78	17.74	0.90	57.69
43	15.00	730.8	20.07	1.99	37.37	6.19	0.99	17.71	0.89	55.92
44	15.10	713.2	19.74	1.72	36.42	4.46	0.73	17.67	0.85	54.05
45	15.20	670.9	20.08	1.62	36.87	3.89	0.63	17.58	0.82	53.52
46	15.30	631.2	19.85	1.60	35.88	3.81	0.61	17.55	0.89	51.99
47	15.40	574.4	19.50	1.77	36.23	4.77	0.77	17.49	0.87	50.99
48	15.50	513.2	19.56	1.72	36.59	4.55	0.73	17.46	0.96	50.62
49	16.00	495.4	18.74	1.60	37.08	3.80	0.61	18.09	0.96	50.16
50	16.10	454.4	20.06	0.98	35.77	0.00	0.00	18.01	0.95	48.85
51	16.20	391.6	19.48	1.65	34.86	4.13	0.67	17.90	0.98	47.62
52	16.30	322	18.94	1.12	37.67	0.98	0.16	17.86	0.99	46.22
53	16.40	262.6	18.09	1.44	33.27	2.87	0.47	17.77	0.90	44.44
54	16.50	*48.6	17.89	0.97	35.22	0.00	0.00	14.07	0.97	42.30
55	17.00	*35	14.04	0.96	34.74	0.00	0.00	13.38	0.90	38.02

Keterangan:

* = Bayangan/Shading



Lampiran A-2 Tabel data hasil pengamatan PLTS dengan pendingin dan tanpa pendingin (Selasa, 29 Agustus 2023)

NO.	Jam	Panel Dengan Sistem Pendingin						Panel Tanpa Sistem Pendingin		
		Intensitas Cahaya (W/m ²)	V Panel V	I Panel A	T Panel °C	V Pompa V	I Pompa A	V Panel V	I Panel A	T Panel °C
1	08.00	421.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	08.10	484	18.92	0.96	32.53	0.00	0.00	18.13	0.82	41.18
3	08.20	575	18.65	1.30	35.14	2.47	0.39	18.50	0.82	44.86
4	08.30	612.2	18.79	1.37	36.37	2.60	0.42	18.44	0.83	45.78
5	08.40	657.3	20.29	0.97	32.90	0.00	0.00	18.41	0.88	48.01
6	08.50	710.8	19.91	1.40	35.44	2.60	0.41	18.36	0.87	50.65
7	09.00	738.5	20.94	1.41	36.06	2.54	0.41	18.15	0.86	53.17
8	09.10	766.4	20.49	1.41	35.89	2.54	0.41	18.28	0.88	53.85
9	09.20	797.4	20.67	1.50	36.32	3.26	0.52	18.04	0.89	53.75
10	09.30	824.5	19.89	1.49	36.73	3.17	0.51	18.06	0.91	56.15
11	09.40	862.5	20.31	1.73	37.00	4.54	0.72	18.10	0.89	56.85
12	09.50	899.6	20.89	1.79	36.91	5.39	0.86	18.04	0.90	57.19
13	10.00	944.2	21.45	1.93	36.88	5.85	0.93	17.77	0.92	57.80
14	10.10	969.8	21.78	1.98	37.13	6.18	0.98	17.70	0.95	59.81
15	10.20	980.3	20.91	1.84	37.57	5.47	0.86	17.64	0.95	61.62
16	10.30	999.3	20.86	2.50	37.98	9.18	1.45	17.69	0.96	61.58
17	10.40	1017	20.30	1.64	37.59	4.23	0.67	17.73	0.97	60.43
18	10.50	1021	21.14	2.69	35.33	10.16	1.63	17.75	0.93	59.03
19	11.00	1049	20.84	2.40	37.48	8.77	1.39	17.83	0.94	60.52
20	11.10	1060	20.87	2.35	37.95	8.24	1.31	17.62	0.97	60.43

Panel Dengan Sistem Pendingin								Panel Tanpa Sistem Pendingin		
NO.	Jam	Intensitas Cahaya	V Panel	I Panel	T Panel	V Pompa	I Pompa	V Panel	I Panel	T Panel
		(W/m ²)	V	A	°C	V	A	V	A	°C
21	11.20	1073	20.80	2.94	37.00	12.07	1.94	17.74	0.96	63.13
22	11.30	1081	21.13	2.39	38.11	8.58	1.38	17.81	0.96	62.73
23	11.40	1097	21.80	3.10	36.99	12.70	2.04	17.73	0.83	63.38
24	11.50	1108	22.01	3.09	37.24	12.69	2.03	17.67	0.93	62.92
25	12.00	1109	21.41	3.08	37.22	12.68	2.02	17.68	0.87	62.68
26	12.10	1101	21.45	3.11	37.29	12.71	2.05	17.59	0.84	62.67
27	12.20	1086	21.12	3.12	37.68	12.72	2.06	17.47	0.86	64.84
28	12.30	1077	21.54	3.11	37.65	12.71	2.05	17.63	0.88	64.38
29	12.40	1065	21.86	3.10	37.51	12.70	2.04	17.70	0.83	62.71
30	12.50	1066	21.75	3.10	37.11	12.70	2.04	17.72	0.82	62.18
31	13.00	1056	21.40	3.10	36.99	12.70	2.04	17.67	0.88	61.06
32	13.10	1044	21.26	3.09	37.31	12.69	2.03	17.63	0.91	61.35
33	13.20	1013	22.77	3.09	37.85	12.69	2.03	17.59	0.90	62.87
34	13.30	1008	21.73	3.10	37.77	12.70	2.04	17.53	0.95	62.07
35	13.40	995	21.44	3.09	36.82	12.69	2.03	17.46	0.97	61.54
36	13.50	948.5	21.56	3.08	36.29	12.68	2.02	17.50	0.97	60.87
37	14.00	899.1	21.25	2.51	35.68	9.46	1.54	17.72	0.93	61.20
38	14.10	886.6	20.91	2.50	38.14	9.20	1.47	17.80	0.98	59.29
39	14.20	851.8	20.66	3.11	36.16	12.71	2.05	17.90	0.94	57.91
40	14.30	800.3	20.82	3.10	35.94	12.70	2.03	17.86	0.94	58.09

Panel Dengan Sistem Pendingin								Panel Tanpa Sistem Pendingin		
NO.	Jam	Intensitas Cahaya	V Panel	I Panel	T Panel	V Pompa	I Pompa	V Panel	I Panel	T Panel
		(W/m ²)	V	A	°C	V	A	V	A	°C
41	14.40	799	20.99	1.89	37.31	5.54	0.89	17.90	0.90	57.80
42	14.50	756	21.63	3.11	35.95	12.70	2.05	18.06	0.88	56.78
43	15.00	730.6	20.75	1.87	35.58	5.40	0.87	18.05	0.87	55.61
44	15.10	683.8	20.56	2.38	36.97	8.47	1.36	18.11	0.83	54.23
45	15.20	656.2	19.53	2.19	37.23	7.29	1.16	18.17	0.80	53.57
46	15.30	613.7	20.16	1.51	36.83	3.27	0.53	18.21	0.87	51.89
47	15.40	562.5	20.07	1.40	31.52	2.55	0.41	18.24	0.85	50.52
48	15.50	527.4	19.68	1.65	31.69	4.23	0.68	18.26	0.94	49.06
49	16.00	493.3	19.08	1.81	32.79	5.08	0.82	18.16	0.94	48.21
50	16.10	419.7	19.26	1.08	36.26	0.66	0.11	18.00	0.93	46.43
51	16.20	401.5	19.71	1.60	34.63	3.82	0.61	17.96	0.96	45.90
52	16.30	358.5	19.07	1.40	37.80	2.54	0.41	17.92	0.97	44.69
53	16.40	262.2	19.71	1.18	32.82	1.31	0.21	17.81	0.90	42.92
54	16.50	*43.2	18.28	0.97	35.33	0.00	0.00	13.79	0.95	40.91
55	17.00	*35.2	14.20	0.96	34.16	0.00	0.00	13.00	0.90	37.12

Keterangan:

* = Bayangan/Shading

Lampiran A-3 Tabel data hasil perhitungan pengamatan PLTS dengan pendingin dan tanpa pendingin (Senin, 28 Agustus 2023)

NO.	Jam	Panel Dengan Pendingin				Panel Tanpa Pendingin		
		P Pompa	Pin Panel	Pout Panel	η Panel	Pin Panel	Pout Panel	η Panel
		W	W	W	%	W	W	%
1	08.00	0.00	282.97	0.00	0.00	282.97	0.00	0.00
2	08.10	0.61	343.48	22.97	6.51	343.48	14.99	4.36
3	08.20	0.00	369.98	18.12	4.90	369.98	15.61	4.22
4	08.30	0.00	412.62	18.72	4.54	412.62	15.78	3.83
5	08.40	1.04	440.77	27.51	6.01	440.77	16.65	3.78
6	08.50	1.31	467.75	29.01	5.92	467.75	16.42	3.51
7	09.00	1.09	485.35	28.33	5.61	485.35	16.17	3.33
8	09.10	1.30	514.33	28.80	5.35	514.33	16.36	3.18
9	09.20	1.71	550.97	31.25	5.36	550.97	16.42	2.98
10	09.30	1.91	568.49	30.00	4.94	568.49	16.65	2.93
11	09.40	4.21	587.26	36.73	5.54	587.26	16.33	2.78
12	09.50	6.06	602.09	38.59	5.40	602.09	16.50	2.74
13	10.00	5.96	612.72	40.89	5.70	612.72	16.82	2.74
14	10.10	4.96	651.36	38.11	5.09	651.36	17.27	2.65
15	10.20	4.75	662.12	39.23	5.21	662.12	17.27	2.61
16	10.30	9.87	709.32	46.94	5.23	709.32	17.34	2.44
17	10.40	7.27	718.98	44.06	5.12	718.98	17.59	2.45
18	10.50	17.80	695.52	56.40	5.55	695.52	16.69	2.40
19	11.00	9.14	706.56	45.94	5.21	706.56	17.09	2.42
20	11.10	19.00	722.43	53.56	4.78	722.43	17.55	2.43
21	11.20	19.08	725.88	59.09	5.51	725.88	17.40	2.40
22	11.30	26.40	730.71	65.35	5.33	730.71	17.44	2.39
23	11.40	26.03	745.89	63.48	5.02	745.89	16.60	2.23
24	11.50	26.07	751.41	66.93	5.44	751.41	17.01	2.26
25	12.00	10.95	754.17	50.36	5.23	754.17	15.88	2.11
26	12.10	26.11	752.10	66.21	5.33	752.10	15.08	2.00
27	12.20	25.87	749.34	66.19	5.38	749.34	15.51	2.07
28	12.30	26.11	743.13	66.03	5.37	743.13	15.77	2.12
29	12.40	25.67	736.23	66.13	5.49	736.23	14.83	2.01
30	12.50	25.91	731.40	65.29	5.38	731.40	14.59	1.99
31	13.00	26.35	725.19	67.30	5.65	725.19	15.75	2.17
32	13.10	25.99	721.74	67.46	5.74	721.74	16.60	2.30
33	13.20	9.87	711.39	46.67	5.17	711.39	16.40	2.31
34	13.30	25.97	698.28	65.94	5.72	698.28	17.32	2.48
35	13.40	22.99	682.41	53.80	4.52	682.41	17.69	2.59
36	13.50	12.69	656.60	52.22	6.02	656.60	17.74	2.70
37	14.00	5.80	633.01	52.60	7.39	633.01	17.06	2.70
38	14.10	26.00	615.07	68.23	6.87	615.07	18.06	2.94
39	14.20	7.21	588.64	43.30	6.13	588.64	17.39	2.95
40	14.30	16.79	567.73	53.10	6.40	567.73	16.95	2.99

NO.	Jam	Panel Dengan Pendingin				Panel Tanpa Pendingin		
		P Pompa	Pin Panel	Pout Panel	η Panel	Pin Panel	Pout Panel	η Panel
		W	W	W	%	W	W	%
41	14.40	11.63	553.59	49.22	6.79	553.59	16.28	2.94
42	14.50	3.71	542.62	35.77	5.91	542.62	15.97	2.94
43	15.00	6.15	504.25	39.94	6.70	504.25	15.76	3.13
44	15.10	3.25	492.11	33.95	6.24	492.11	15.02	3.05
45	15.20	2.45	462.92	32.53	6.50	462.92	14.42	3.11
46	15.30	2.33	435.53	31.76	6.76	435.53	15.62	3.59
47	15.40	3.69	396.34	34.52	7.78	396.34	15.22	3.84
48	15.50	3.31	354.11	33.64	8.56	354.11	16.76	4.73
49	16.00	2.30	341.83	29.98	8.10	341.83	17.37	5.08
50	16.10	0.00	313.54	19.66	6.27	313.54	17.11	5.46
51	16.20	2.75	270.20	32.14	10.88	270.20	17.54	6.49
52	16.30	0.16	222.18	21.21	9.48	222.18	17.68	7.96
53	16.40	1.34	181.19	26.05	13.64	181.19	15.99	8.83
54	16.50	0.00	33.53	17.35	51.75	33.53	13.65	40.70
55	17.00	0.00	24.15	13.48	55.81	24.15	12.04	49.86

Lampiran A-4 Tabel data hasil perhitungan pengamatan PLTS dengan pendingin dan tanpa pendingin (Selasa, 29 Agustus 2023)

NO.	Jam	Panel Dengan Pendingin				Panel Tanpa Pendingin		
		P Pompa	Pin Panel	Pout Panel	η Panel	Pin Panel	Pout Panel	η Panel
		W	W	W	%	W	W	%
1	08.00	0.00	290.63	0.00	0.00	290.63	0.00	0.00
2	08.10	0.00	333.96	18.16	5.44	333.96	14.87	4.45
3	08.20	0.96	396.75	24.25	5.87	396.75	15.17	3.82
4	08.30	1.09	422.42	25.74	5.84	422.42	15.31	3.62
5	08.40	0.00	453.54	19.68	4.34	453.54	16.20	3.57
6	08.50	1.07	490.45	27.87	5.47	490.45	15.97	3.26
7	09.00	1.03	509.57	29.53	5.59	509.57	15.61	3.06
8	09.10	1.03	528.82	28.89	5.27	528.82	16.09	3.04
9	09.20	1.68	550.21	31.01	5.33	550.21	16.06	2.92
10	09.30	1.60	568.91	29.64	4.93	568.91	16.43	2.89
11	09.40	3.26	595.13	35.14	5.36	595.13	16.11	2.71
12	09.50	4.60	620.72	37.39	5.28	620.72	16.24	2.62
13	10.00	5.47	651.50	41.40	5.51	651.50	16.35	2.51
14	10.10	6.08	669.16	43.12	5.54	669.16	16.82	2.51
15	10.20	4.73	676.41	38.47	4.99	676.41	16.76	2.48
16	10.30	13.34	689.52	52.15	5.63	689.52	16.98	2.46
17	10.40	2.83	701.73	33.29	4.34	701.73	17.20	2.45
18	10.50	16.56	704.49	56.87	5.72	704.49	16.51	2.34
19	11.00	12.19	723.81	50.02	5.23	723.81	16.76	2.32
20	11.10	10.78	731.40	49.04	5.23	731.40	17.09	2.34

NO.	Jam	Panel Dengan Pendingin				Panel Tanpa Pendingin		
		P Pompa	Pin Panel	Pout Panel	η Panel	Pin Panel	Pout Panel	η Panel
		W	W	W	%	W	W	%
21	11.20	23.45	740.37	61.15	5.09	740.37	17.03	2.30
22	11.30	11.84	745.89	50.50	5.18	745.89	17.10	2.29
23	11.40	25.91	756.93	67.58	5.50	756.93	14.72	1.94
24	11.50	25.71	764.52	68.01	5.53	764.52	16.43	2.15
25	12.00	25.64	765.21	65.94	5.27	765.21	15.38	2.01
26	12.10	26.09	759.69	66.71	5.35	759.69	14.78	1.94
27	12.20	26.17	749.34	65.89	5.30	749.34	15.02	2.00
28	12.30	26.13	743.13	66.99	5.50	743.13	15.51	2.09
29	12.40	25.90	734.85	67.77	5.70	734.85	14.69	2.00
30	12.50	25.86	735.54	67.43	5.65	735.54	14.53	1.98
31	13.00	25.89	728.64	66.34	5.55	728.64	15.55	2.13
32	13.10	25.79	720.36	65.69	5.54	720.36	16.04	2.23
33	13.20	25.74	698.97	70.36	6.38	698.97	15.83	2.26
34	13.30	25.96	695.52	67.36	5.95	695.52	16.65	2.39
35	13.40	25.71	686.55	66.25	5.90	686.55	16.94	2.47
36	13.50	25.62	654.47	66.40	6.23	654.47	16.98	2.59
37	14.00	14.56	620.38	53.34	6.25	620.38	16.48	2.66
38	14.10	13.53	611.75	52.28	6.33	611.75	17.44	2.85
39	14.20	26.06	587.74	64.25	6.50	587.74	16.83	2.86
40	14.30	25.78	552.21	64.54	7.02	552.21	16.79	3.04
41	14.40	4.92	551.31	39.67	6.30	551.31	16.11	2.92
42	14.50	26.02	521.64	67.27	7.91	521.64	15.89	3.05
43	15.00	4.67	504.11	38.80	6.77	504.11	15.70	3.12
44	15.10	11.52	471.82	48.93	7.93	471.82	15.03	3.19
45	15.20	8.44	452.78	42.77	7.58	452.78	14.54	3.21
46	15.30	1.73	423.45	30.44	6.78	423.45	15.84	3.74
47	15.40	1.05	388.13	28.10	6.97	388.13	15.50	3.99
48	15.50	2.87	363.91	32.47	8.13	363.91	17.16	4.72
49	16.00	4.14	340.38	34.53	8.93	340.38	17.07	5.02
50	16.10	0.07	289.59	20.80	7.16	289.59	16.74	5.78
51	16.20	2.33	277.04	31.54	10.54	277.04	17.24	6.22
52	16.30	1.05	247.37	26.70	10.37	247.37	17.38	7.03
53	16.40	0.28	180.92	23.26	12.70	180.92	16.03	8.86
54	16.50	0.00	29.81	17.73	59.49	29.81	13.10	43.95
55	17.00	0.00	24.29	13.63	56.13	24.29	11.70	48.17

Lampiran A-5 Tabel data rata-rata pengamatan daya pompa dan daya *output* panel dengan pendingin dan tanpa pendingin

Tanggal	Pompa		Daya <i>Output</i>		
	Daya (Watt)	Waktu (Jam)	Dengan Pendingin (Watt)	Tanpa Pendingin (Watt)	Waktu (Jam)
Senin, 28 Agustus 2023	26.1	4.43	43.19	16.35	8
Selasa, 29 Agustus 2023	25.83	4.03	45.43	16.01	8

Lampiran A-6 Tabel hasil rata-rata energi *output*, efisiensi, dan temperatur panel dengan pendingin dan tanpa pendingin

Tanggal	Energi <i>Output</i> (Wh)		Efisiensi (%)		Temperatur (°C)		
	Dengan Pendingin	Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin	Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin		Tanpa Pendingin
					Panel	Air	Panel
Senin, 28 Agustus 2023	229.90	130.80	7.89	4.76	36.62	35.44	57.02
Selasa, 29 Agustus 2023	259.34	128.08	8.15	4.71	36.27	35.25	55.86

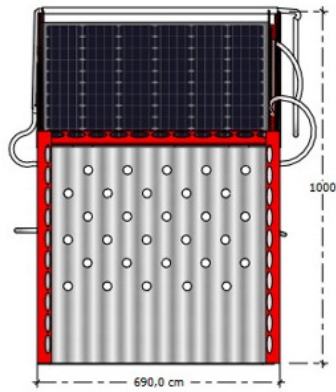
Lampiran A-7 Tabel hasil rata-rata perpindahan panas, peningkatan daya *output*, energi *output*, efisiensi, dan penurunan temperatur

Tanggal	Perpindahan Panas	Peningkatan			Penurunan Temperatur
		Energi <i>output</i>	Daya <i>output</i>	Efisesinsi	
	J	Wh	%	%	
Senin, 28 Agustus 2023	1273.16	99.10	62.14	3.13	35.78
Selasa, 29 Agustus 2023	1100.53	131.26	64.76	3.44	35.07

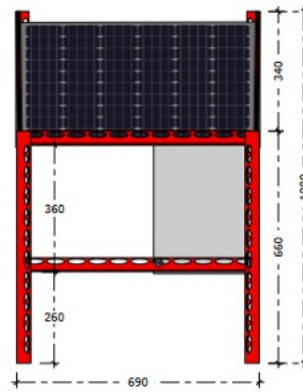


Lampiran B-1 Gambar Desain 2D PLTS

Tampak dari Depan



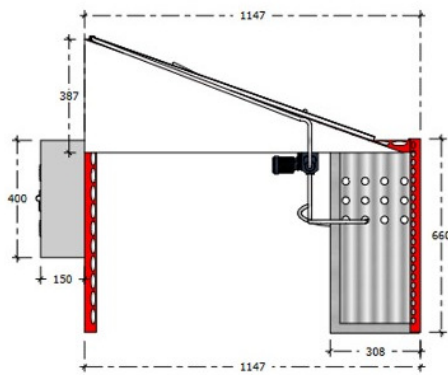
Panel Dengan Sistem Pendingin



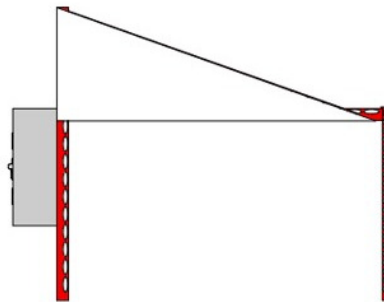
Panel Tanpa Sistem Pendingin



Tampak dari Samping

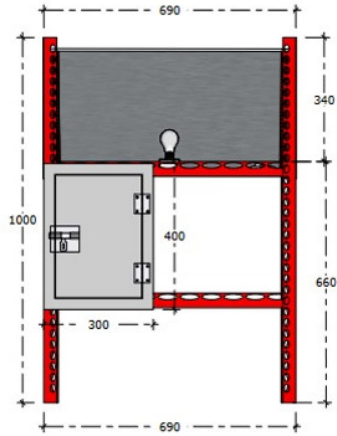


Panel Dengan Sistem Pendingin

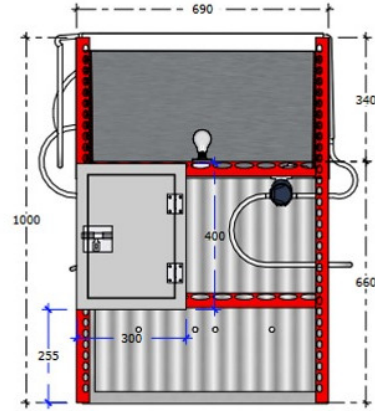


Panel Tanpa Sistem Pendingin

Tampak dari Belakang

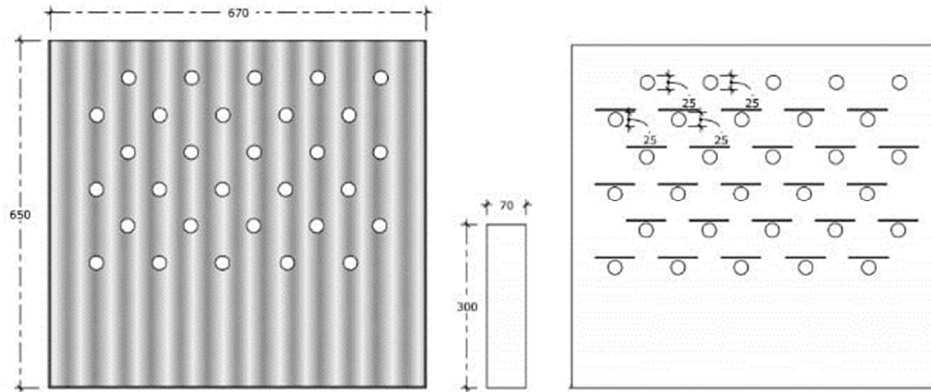


Panel Tanpa Sistem Pendingin

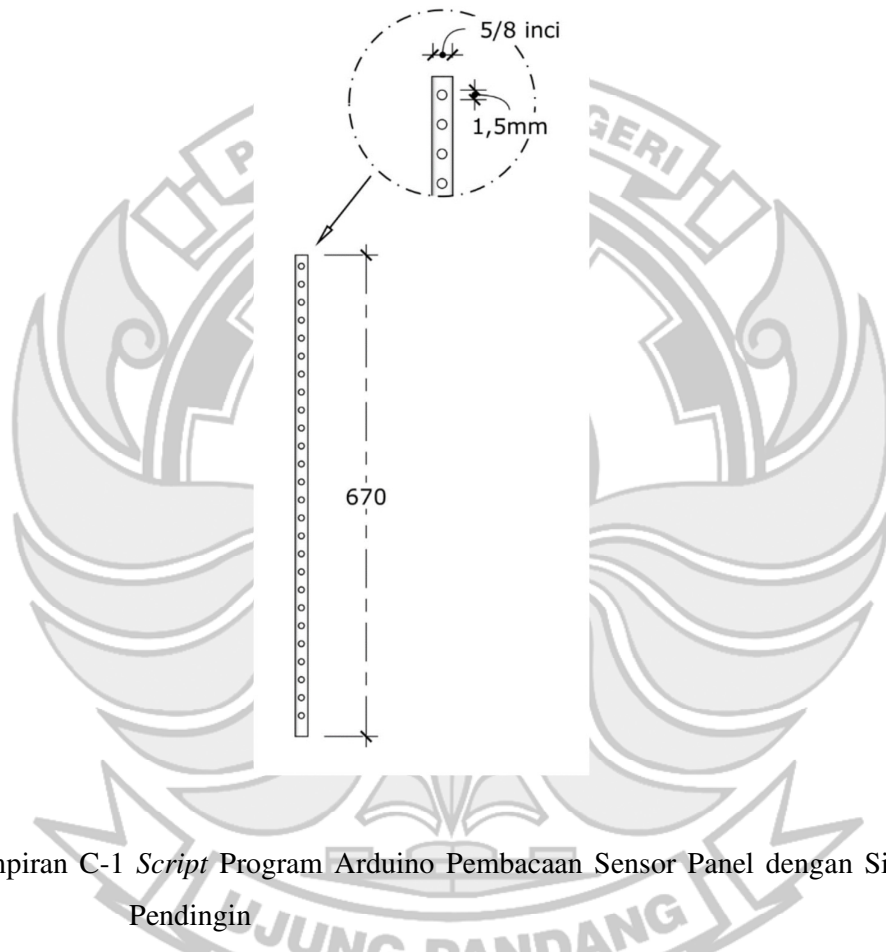


Panel Dengan Sistem Pendingin

Lampiran B-2 Gambar Desain 2D Bak Penampungan Air



Lampiran B-3 Gambar Desain 2D *Nozzel*



Lampiran C-1 *Script* Program Arduino Pembacaan Sensor Panel dengan Sistem Pendingin

```
#include <SPI.h>
#include <OneWire.h>
#include <Wire.h> // Include the Wire library for I2C communication
// Inclure la bibliothèque Wire pour la communication I2C
#include <RTClib.h> // Include the RTClib library for the DS3231
module // Inclure la bibliothèque RTClib pour le module DS3231
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Include the LiquidCrystal_I2C
library for the LCD screen // Inclure la bibliothèque
LiquidCrystal_I2C pour l'écran LCD
```

```

#include <SD.h> // Include the SD library for the microSD card //
Inclure la bibliothèque SD pour la carte microSD
#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire); //Sensor Suhu

RTC_DS3231 rtc; // Initialize the rtc object for the DS3231 module
// Initialiser l'objet rtc pour le module DS3231
LiquidCrystal_I2C lcd(0X27, 20, 4); // Initialize the lcd object
for the LCD screen // Initialiser l'objet lcd pour l'écran LCD
const int chipSelect = 10; // Define the chip select pin
for the microSD card // Définir le pin de sélection de la carte
microSD

File dataFile; // SDcard
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday",
"Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};
byte
char_temp[8]={B00100,B01010,B01010,B01110,B01110,B11111,B11111,B0111
0}; // for thermometer icon / pour l'icône du thermomètre

int PinTegangan1 = A3; // Sensor Tegangan
float Vmodul1 = 0.0;
float hasil1 = 0.0;
float R1 = 30000.0; //30k
float R2 = 7500.0; //7500 ohm resistor,
int value1 = 0;

int PinArus1 = A2; // Sensor Arus
int sensitivitas1 = 100;
int nilaiADC1 = 00; // nilai yang dibaca sensor
Arus
int teganganoffset1 = 2300;
double tegangan1 = 00;
double nilaiArus1 = 00; // nilai hasil yang akan
ditampilkan di LCD

float Daya1; // Daya

const int relayPin1 = 7; // Relay Pompa

```

```

const int relayPin2 = 6;          // Relay Pompa

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin();
  lcd.init();                    // Initialize the LCD screen //
  Initialiser l'écran LCD
  lcd.backlight();              // Activate the LCD screen backlight
  // Activer le rétroéclairage de l'écran LCD
  lcd.createChar(0, char_temp);
  pinMode(relayPin1, OUTPUT);
  pinMode(relayPin2, OUTPUT);
  digitalWrite(relayPin1, HIGH);
  digitalWrite(relayPin2, HIGH);
  if (! rtc.begin()) {          // Check if the DS3231 module is
    connected and functional // Vérifier si le module DS3231 est
    connecté et fonctionnel
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("DS3231 Error!");
      while (1);
    }
  if (!SD.begin(chipSelect)) { // Check if the microSD card is
    connected and functional // Vérifier si la carte microSD est
    connectée et fonctionnelle
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("SD card error!");
      while (1);
      return;
    }
  Serial.println("SD card berhasil diinisialisasi.");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("-----Scanning-----");

  if (rtc.lostPower()) {        // Check if the main power supply of
    the DS3231 is removed // Vérifier si l'alimentation principale du
    DS3231 est coupée
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print("RTC has lost power!");
    }

  if (SD.exists("data.txt"))    // Check if the "data.txt" file
    exists // Vérifier si le fichier "data.txt" existe
  {

```

```

    SD.remove("data.txt");      // If the file exists, remove it //
    Supprimer le fichier "data.txt" s'il existe
}

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("- - - - -");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("-----Initiating-----");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print(" - - - - -");
delay(3500);
lcd.clear();

}
void loop() {

//-----Sensor Suhu-----//
    sensors.requestTemperatures();
    float temperatureCelsius1 = sensors.getTempCByIndex(0);
    float temperatureCelsius2 = sensors.getTempCByIndex(1);

//-----Real Time Clocker-----//

    DateTime now = rtc.now();      // Read current date and time
    from DS3231 module // Lire la date et l'heure actuelles depuis le
    module DS3231

//-----Sensor Tegangan-----//
    value1 = analogRead(PinTegangan1);
    Vmodul1 = (value1 / 1023.0)*5.0;
    hasil1 = Vmodul1 / (R2/(R1+R2));
    Serial.println(value1);

//-----Sensor Arus-----//
    nilaiADC1 = analogRead(PinArus1);
    tegangan1 = (nilaiADC1 / 1023.0) * 5000;
    nilaiArus1 = abs((tegangan1 - teganganoffset1) / sensitivitas1);

//-----Daya-----//
    Daya1 = hasil1 * nilaiArus1;

```



```

//-----Relay Pump-----//
if (temperatureCelsius1>=40)
    {digitalWrite(relayPin1, LOW);
    digitalWrite(relayPin2, LOW);}

else if (temperatureCelsius1<=35)
    {digitalWrite(relayPin1, HIGH);
    digitalWrite(relayPin2, HIGH);}

//-----Date display - Affichage de la date-----//

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(", ");
lcd.setCursor(9,1);
if (now.day() <=9 )
{
    lcd.print("0");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(now.day(),DEC);
}
else {lcd.print(now.day(),DEC);}
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(12,1);
if (now.month() <=9 )
{
    lcd.print("0");
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print(now.month(),DEC);
}
else {lcd.print(now.month(),DEC);}
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(now.year(),DEC);
//-----Time dsisplay - Affichage du temps-----//
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Time");
lcd.setCursor(4, 2);
lcd.print(" : ");
lcd.setCursor(11,2);
if (now.hour() <=9 )

```

```

{
  lcd.print("0");
  lcd.setCursor(12,2);
  lcd.print(now.hour(),DEC);
}
else {lcd.print(now.hour(),DEC);}
lcd.setCursor(13,2);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(14,2);
if (now.minute() <=9 )
{
  lcd.print("0");
  lcd.setCursor(15,2);
  lcd.print(now.minute(),DEC);
}
else {lcd.print(now.minute(),DEC);}
lcd.setCursor(16,2);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(17,2);

if (now.second() <=9 )
{

  lcd.print("0");
  lcd.setCursor(18,1);
  lcd.print(now.second(),DEC);

}
else {lcd.print(now.second(),DEC);}

// Open the file for saving data. // ouverture du fichier pour
enregistrer les données
dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

// if the file is open, we save the data // si le fichier est
ouvert, on enregistre les données
if (dataFile) {
  dataFile.print(now.hour(), DEC);
  dataFile.print(":");
  dataFile.print(now.minute(), DEC);
  dataFile.print(":");
  dataFile.print(now.second(), DEC);
  dataFile.print(" ");
  dataFile.print(hasil1);
  dataFile.print(" ");
}

```

```

dataFile.print(nilaiArus1);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(Daya1);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(temperatureCelsius1);
dataFile.print(" ");
dataFile.println(temperatureCelsius2);
dataFile.close();
} else {
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Recording error!");
}

Serial.println(" ");
Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
Serial.print(",");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.println(now.day(), DEC);
Serial.print("Jam = ");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.println(now.second(), DEC);
Serial.print("VPanel = ");
Serial.print(hasil1);
Serial.print(" V  ,  ");
Serial.print("IPanel = ");
Serial.print(nilaiArus1);
Serial.print(" I  ,  ");
Serial.print("PPanel = ");
Serial.print(Daya1);
Serial.print(" W  ,  ");
Serial.print("TPanel = ");
Serial.print(temperatureCelsius1);
Serial.print("°C  ,  ");
Serial.print("TAir = ");
Serial.print(temperatureCelsius2);
Serial.println("°C");
Serial.println(" ");
delay(5000);

```

```

//-----Sensor displays-----//
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("V Panel = ");
  lcd.print(hasil1);
  lcd.print(" V  ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("I Panel = ");
  lcd.print(nilaiArus1);
  lcd.print(" A  ");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("P Panel = ");
  lcd.print(Daya1);
  lcd.print(" W  ");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("T1=");
  lcd.print(temperatureCelsius1);
  lcd.setCursor(8,3);
  lcd.write((char)223);
  lcd.setCursor(9,3);
  lcd.print("C");
  lcd.setCursor(10,3);
  lcd.print("T2=");
  lcd.print(temperatureCelsius2);
  lcd.setCursor(18,3);
  lcd.write((char)223);
  lcd.setCursor(19,3);
  lcd.print("C");

  delay(10000);
  lcd.clear();
}

```

Lampiran C-2 *Script* Program Arduino Pembacaan Sensor Pompa pada Panel dengan Sistem Pendingin

```
#include <SPI.h>
#include <RTClib.h> // Include the RTClib library for the DS3231
module // Inclure la bibliothèque RTClib pour le module DS3231
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Include the LiquidCrystal_I2C
library for the LCD screen // Inclure la bibliothèque
LiquidCrystal_I2C pour l'écran LCD
#include <SD.h> // Include the SD library for the microSD card //
Inclure la bibliothèque SD pour la carte microSD

RTC_DS3231 rtc; // Initialize the rtc object for the DS3231 module
// Initialiser l'objet rtc pour le module DS3231
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Initialize the lcd object
for the LCD screen // Initialiser l'objet lcd pour l'écran LCD
const int chipSelect = 10; // Define the chip select pin
for the microSD card // Définir le pin de sélection de la carte
microSD

File dataFile; // SDcard
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday",
"Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};
// byte
char_temp[8]={B00100,B01010,B01010,B01110,B01110,B11111,B11111,B0111
0}; // for thermometer icon / pour l'icône du thermomètre

int PinTegangan1 = A1; // Sensor Tegangan
float Vmodul1 = 0.0;
float hasil1 = 0.0;
float R1 = 30000.0; //30k
float R2 = 7500.0; //7500 ohm resistor,
int value1 = 0;

int PinArus1 = A0; // Sensor Arus
int sensitivitas1 = 100;
int nilaiADC1 = 00; // nilai yang dibaca sensor Arus
int teganganoffset1 = 2300;
double tegangan1 = 00;
double nilaiArus1 = 00; // nilai hasil yang akan ditampilkan di LCD

float Daya1; // Daya
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin();
  lcd.init(); // Initialize the LCD screen // Initialiser l'écran
LCD
  lcd.backlight(); // Activate the LCD screen backlight // Activer
le rétroéclairage de l'écran LCD
  if (! rtc.begin()) { // Check if the DS3231 module is
connected and functional // Vérifier si le module DS3231 est
connecté et fonctionnel
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("DS3231 Error!");
    while (1);
  }
  if (!SD.begin(chipSelect)) { // Check if the microSD card is
connected and functional // Vérifier si la carte microSD est
connectée et fonctionnelle
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("SD card error!");
    while (1);
    return;
  }
  Serial.println("SD card berhasil diinisialisasi.");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("-----Scanning-----");

  if (rtc.lostPower()) { // Check if the main power supply of the
DS3231 is removed // Vérifier si l'alimentation principale du DS3231
est coupée
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("RTC has lost power!");

  }

  if (SD.exists("data.txt")) // Check if the "data.txt" file
exists // Vérifier si le fichier "data.txt" existe
  {
    SD.remove("data.txt"); // If the file exists, remove it //
Supprimer le fichier "data.txt" s'il existe
  }

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("-----Initiating-----");
  delay(3500);
  lcd.clear();

```

```

}
void loop() {
//-----Real Time Clocker-----//
  DateTime now = rtc.now();          // Read current date and time
  from DS3231 module // Lire la date et l'heure actuelles depuis le
  module DS3231

//-----Sensor Tegangan-----//
  value1 = analogRead(PinTegangan1);
  Vmodul1 = (value1 / 1023.0)*5.0;
  hasil1 = Vmodul1 / (R2/(R1+R2));
  Serial.println(value1);

//-----Sensor Arus-----//
  nilaiADC1 = analogRead(PinArus1);
  tegangan1 = (nilaiADC1 / 1023.0) * 5000;
  nilaiArus1 = abs((tegangan1 - teganganoffset1) / sensitivitas1);
  if(nilaiArus1 < 2.00) {
    nilaiArus1 = 0;}

//-----Daya-----
-----//
Daya1 = hasil1 * nilaiArus1;

//-----Date display - Affichage de la date-----//

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
  lcd.setCursor(8,0);
  lcd.print(", ");
  lcd.setCursor(9,0);
  if (now.day() <=9 )
  {
    lcd.print("0");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print(now.day(),DEC);
  }
  else {lcd.print(now.day(),DEC);}
  lcd.setCursor(11,0);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(12,0);
  if (now.month() <=9 )
  {

```

```

        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(13,0);
        lcd.print(now.month(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.month(),DEC);}
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(15,0);
    lcd.print(now.year(),DEC);
//-----Time dsplay - Affichage du temps-----//
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Time");
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("    : ");
    lcd.setCursor(11,1);
    if (now.hour() <=9 )
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(12,1);
        lcd.print(now.hour(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.hour(),DEC);}
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(14,1);
    if (now.minute() <=9 )
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(15,1);
        lcd.print(now.minute(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.minute(),DEC);}
    lcd.setCursor(16,1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(17,1);

    if (now.second() <=9 )
    {

        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(18,0);
        lcd.print(now.second(),DEC);

    }
    else {lcd.print(now.second(),DEC);}

```



```

// Open the file for saving data. // ouverture du fichier pour
enregistrer les données
dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

// if the file is open, we save the data // si le fichier est
ouvert, on enregistre les données
if (dataFile) {
    dataFile.print(now.hour(), DEC);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(now.minute(), DEC);
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(now.second(), DEC);
    dataFile.print(" ");
    dataFile.print(hasil1);
    dataFile.print(" ");
    dataFile.print(nilaiArus1);
    dataFile.print(" ");
    dataFile.println(Daya1);
    dataFile.close();
} else {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Recording error!");
}

Serial.println(" ");
Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
Serial.print(",");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.println(now.day(), DEC);
Serial.print("Jam = ");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.println(now.second(), DEC);
Serial.print("VPompa = ");
Serial.print(hasil1);
Serial.println(" V");
Serial.print("IPompa = ");
Serial.print(nilaiArus1);
Serial.println(" I");

```

```

Serial.print("PPompa = ");
Serial.print(Daya1);
Serial.println(" W");
delay(5000);

//-----Sensor displays-----//
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("V=");
lcd.print(hasil1);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("I=");
lcd.print(nilaiArus1);
lcd.print("A      ");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("P=");
lcd.print(Daya1);
lcd.print("W");

delay(10000);
lcd.clear();
}

```

Lampiran C-3 *Script* Program Arduino Pembacaan Sensor Panel Tanpa Sistem Pendingin

```

#include <SPI.h>
#include <OneWire.h>
#include <Wire.h> // Include the Wire library for I2C communication
// Inclure la bibliothèque Wire pour la communication I2C
#include <RTCLib.h> // Include the RTCLib library for the DS3231
module // Inclure la bibliothèque RTCLib pour le module DS3231
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Include the LiquidCrystal_I2C
library for the LCD screen // Inclure la bibliothèque
LiquidCrystal_I2C pour l'écran LCD
#include <SD.h> // Include the SD library for the microSD card //
Inclure la bibliothèque SD pour la carte microSD
#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire); //Sensor Suhu

```

```

RTC_DS3231 rtc; // Initialize the rtc object for the DS3231 module
// Initialiser l'objet rtc pour le module DS3231
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Initialize the lcd object for
the LCD screen // Initialiser l'objet lcd pour l'écran LCD
const int chipSelect = 10; // Define the chip select pin for the
microSD card // Définir le pin de sélection de la carte microSD

File dataFile; // SDcard
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday",
"Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};
byte
char_temp[8]={B00100,B01010,B01010,B01110,B01110,B11111,B11111,B0111
0}; // for thermometer icon / pour l'icône du thermomètre

int PinTegangan = A1; // Sensor Tegangan
float Vmodul = 0.0;
float hasil = 0.0;
float R1 = 30000.0; //30k
float R2 = 7500.0; //7500 ohm resistor,
int value = 0;

int PinArus = A0; // Sensor Arus
int sensitivitas = 100;
int nilaiADC = 00; // nilai yang dibaca sensor Arus
int teganganoffset = 2300;
double tegangan = 00;
double nilaiArus = 00; // nilai hasil yang akan ditampilkan di LCD

float Daya; // Daya

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin();
  lcd.init(); // Initialize the LCD screen //
Initialiser l'écran LCD
  lcd.backlight(); // Activate the LCD screen backlight
// Activer le rétroéclairage de l'écran LCD
  lcd.createChar(0,char_temp);
  if (! rtc.begin()) { // Check if the DS3231 module is
connected and functional // Vérifier si le module DS3231 est
connecté et fonctionnel
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("DS3231 Error!");
    while (1);
  }
}

```

```

    if (!SD.begin(chipSelect)) { // Check if the microSD card is
connected and functional // Vérifier si la carte microSD est
connectée et fonctionnelle
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("SD card error!");
        while (1);
        return;
    }
    Serial.println("SD card berhasil diinisialisasi.");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("-----Scanning-----");

    if (rtc.lostPower()) {          // Check if the main power supply of
the DS3231 is removed // Vérifier si l'alimentation principale du
DS3231 est coupée
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("RTC has lost power!");
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    }

    if (SD.exists("data.txt"))    // Check if the "data.txt" file
exists // Vérifier si le fichier "data.txt" existe
    {
        SD.remove("data.txt");    // If the file exists, remove it //
Supprimer le fichier "data.txt" s'il existe
    }

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("- - - - -");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("-----Initiating-----");
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" - - - - -");
    delay(3500);
    lcd.clear();
}

void loop() {

//-----Sensor Suhu-----//
    sensors.requestTemperatures();
    float temperatureCelsius1 = sensors.getTempCByIndex(0);
    float temperatureCelsius2 = sensors.getTempCByIndex(1);

//-----Real Time Clcker-----//

```

```

    DateTime now = rtc.now();          // Read current date and time
from DS3231 module // Lire la date et l'heure actuelles depuis le
module DS3231

//-----Sensor Tegangan-----//
value = analogRead(PinTegangan);
Vmodul = (value / 1023.0)*5.0;
hasil = Vmodul / (R2/(R1+R2));
Serial.println(value);

//-----Sensor Arus-----//
nilaiADC = analogRead(PinArus);
tegangan= (nilaiADC / 1023.0) * 5000;
nilaiArus = abs((tegangan -teganganoffset) / sensitivitas);

//-----Daya-----//
Daya = hasil * nilaiArus;

//-----Date display - Affichage de la date-----//

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print(", ");
    lcd.setCursor(9,1);
    if (now.day() <=9 )
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(10,1);
        lcd.print(now.day(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.day(),DEC);}
    lcd.setCursor(11,1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(12,1);
    if (now.month() <=9 )
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(13,1);
        lcd.print(now.month(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.month(),DEC);}
    lcd.setCursor(14,1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(15,1);

```

```

    lcd.print(now.year(),DEC);
//-----Time dsisplay - Affichage du temps-----//
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Time");
    lcd.setCursor(4, 2);
    lcd.print("  :  ");
    lcd.setCursor(11,2);
    if (now.hour() <=9 )
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(12,2);
        lcd.print(now.hour(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.hour(),DEC);}
    lcd.setCursor(13,2);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(14,2);
    if (now.minute() <=9 )
    {
        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(15,2);
        lcd.print(now.minute(),DEC);
    }
    else {lcd.print(now.minute(),DEC);}
    lcd.setCursor(16,2);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(17,2);

    if (now.second() <=9 )
    {

        lcd.print("0");
        lcd.setCursor(18,1);
        lcd.print(now.second(),DEC);

    }
    else {lcd.print(now.second(),DEC);}

    // Open the file for saving data. // ouverture du fichier pour
enregistrer les données
    dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

    // if the file is open, we save the data // si le fichier est
ouvert, on enregistre les données
    if (dataFile) {

```

```

dataFile.print(now.hour(), DEC);
dataFile.print(":");
dataFile.print(now.minute(), DEC);
dataFile.print(":");
dataFile.print(now.second(), DEC);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(hasil);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(nilaiArus);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(Daya);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(temperatureCelsius1);
dataFile.print(" ");
dataFile.println(temperatureCelsius2);
dataFile.close();
} else {
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Recording error!");
}

Serial.println(" ");
Serial.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
Serial.print(",");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print("/");
Serial.println(now.day(), DEC);
Serial.print("Jam = ");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(":");
Serial.println(now.second(), DEC);
Serial.print("VPanel = ");
Serial.print(hasil);
Serial.print(" V   ,   ");
Serial.print("IPanel = ");
Serial.print(nilaiArus);
Serial.print(" I   ,   ");
Serial.print("PPanel = ");
Serial.print(Daya);
Serial.print(" W   ,   ");
Serial.print("TPanel1 = ");

```

```

Serial.print(temperatureCelsius1);
Serial.print("°C  ,  ");
Serial.print("TPanel12 = ");
Serial.print(temperatureCelsius2);
Serial.println("°C");
Serial.println("  ");
delay(5000);

//-----Sensor displays-----//
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("V Panel = ");
  lcd.print(hasil);
  lcd.print(" V  ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("I Panel = ");
  lcd.print(nilaiArus);
  lcd.print(" A  ");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("P Panel = ");
  lcd.print(Daya);
  lcd.print(" W  ");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("T1=");
  lcd.print(temperatureCelsius1);
  lcd.setCursor(8,3);
  lcd.write((char)223);
  lcd.setCursor(9,3);
  lcd.print("C");
  lcd.print("T2=");
  lcd.print(temperatureCelsius2);
  lcd.setCursor(18,3);
  lcd.write((char)223);
  lcd.setCursor(19,3);
  lcd.print("C");

  delay(10000);
  lcd.clear();
}

```


Lampiran D-1 Tampilan Pembacaan Sensor Tegangan, Arus, T_{panel} dan T_{air} pada Panel dengan sistem pendingin

- Senin, 28 Agustus 2023

Waktu (Jam)	Teg. Panel (V)	A. Panel (I)	P. Panel (Watt)	T. Panel (°C)	T. Air (°C)	Waktu (Jam)	Tg. Pompa (V)	A. Pompa (I)	P. Pompa (Watt)
08.00.14	20.01	0.94	18.81	37.94	0	08.00.11	0	0	0
08.00.30	20.01	0.99	19.81	38.06	0	08.00.26	0	0	0
08.00.45	19.99	0.87	17.39	38.25	0	08.00.41	0	0	0
08.01.01	19.97	0.96	19.17	38.38	0	08.00.56	0	0	0
08.01.16	19.97	0.92	18.37	38.56	0	08.01.11	0	0	0
08.01.32	19.97	1.02	20.37	38.69	0	08.01.26	0	0	0
08.01.48	19.94	0.88	17.55	38.81	0	08.01.42	0	0	0
08.02.03	14.25	0.91	12.97	38.88	0	08.01.57	0	0	0
08.02.19	19.94	1	19.94	39	0	08.02.12	0	0	0
08.02.34	19.79	0.97	19.20	39.13	0	08.02.27	0	0	0
08.02.50	19.94	0.86	17.15	39.25	0	08.02.42	0	0	0
08.03.05	14.52	0.98	14.23	39.44	0	08.02.57	0	0	0
08.03.21	19.94	1.01	20.14	39.56	0	08.03.13	0	0	0
08.03.36	19.94	0.9	17.95	39.69	0	08.03.28	0	0	0
08.03.52	19.65	0.89	17.49	39.88	0	08.03.43	0	0	0
08.04.07	19.89	1.03	20.49	39.94	0	08.03.58	0	0	0
08.04.23	19.97	3	59.91	40.13	32.44	08.04.13	0	0	0
08.04.38	13.42	2.8	37.58	40.25	30.75	08.04.28	12.78	2.04	26.07
08.04.54	13.54	3.1	41.97	40.31	28.31	08.04.44	12.62	1.99	25.11
08.05.09	13.51	2.9	39.18	39.31	27.06	08.04.59	12.7	2.02	25.65
08.05.25	13.59	3	40.77	37.75	26.62	08.05.14	12.68	1.98	25.11
08.05.41	13.66	2.7	36.88	36.19	26.37	08.05.29	12.73	2	25.46
08.05.56	13.64	0.96	13.09	34.69	0	08.05.44	12.76	1.99	25.39
08.06.12	20.77	0.91	18.90	33.5	0	08.05.59	0	0	0
08.06.27	20.72	1.02	21.13	32.5	0	08.06.15	0	0	0
08.06.43	20.72	0.89	18.44	31.69	0	08.06.30	0	0	0
08.06.58	17.57	0.97	17.04	31.12	0	08.06.45	0	0	0
08.07.14	20.63	0.93	19.19	30.69	0	08.07.00	0	0	0
08.07.29	14.1	0.88	12.41	30.37	0	08.07.15	0	0	0
08.07.45	20.55	0.85	17.47	30.19	0	08.07.31	0	0	0
08.08.00	14.61	1.03	15.05	30	0	08.07.46	0	0	0
08.08.16	14.1	0.92	12.97	29.94	0	08.08.01	0	0	0
08.08.31	20.55	0.99	20.34	30	0	08.08.16	0	0	0
08.08.47	19.6	0.94	18.42	30	0	08.08.31	0	0	0
08.09.02	20.5	0.9	18.45	30.12	0	08.08.46	0	0	0
08.09.18	18.35	1	18.35	30.19	0	08.09.02	0	0	0
08.09.33	20.43	1.01	20.63	30.31	0	08.09.17	0	0	0
08.09.49	20.45	0.98	20.04	30.5	0	08.09.32	0	0	0
						08.09.47	0	0	0

Waktu (Jam)	Teg. Panel (V)	A. Panel (I)	P. Panel (Watt)	T. Panel (°C)	T. Air (°C)	Waktu (Jam)	Tg. Pompa (V)	A. Pompa (I)	P. Pompa (Watt)
09.40.15	21.97	3.1	68.11	37.88	31.31	09.40.13	12.74	1.97	25.10
09.40.30	18.35	2.7	49.55	37.13	32.31	09.40.28	12.61	2.04	25.72
09.40.46	22.07	3	66.21	36.56	31.62	09.40.43	12.68	1.96	24.85
09.41.01	14.54	2.8	40.71	36	31.37	09.40.59	12.71	2.03	25.80
09.41.17	21.58	3	64.74	35.56	30.25	09.41.14	12.63	2.05	25.89
09.41.32	22.19	2.9	64.35	35.13	30.87	09.41.29	12.72	2	25.44
09.41.48	15.76	0.94	14.81	34.75	0	09.41.44	0	0	0
09.42.03	21.55	0.97	20.90	34.5	0	09.41.59	0	0	0
09.42.19	21.48	0.88	18.90	34.25	0	09.42.14	0	0	0
09.42.34	21.38	0.99	21.17	34.13	0	09.42.30	0	0	0
09.42.50	21.33	0.92	19.62	34.19	0	09.42.45	0	0	0
09.43.05	21.33	0.86	18.34	34.25	0	09.43.00	0	0	0
09.43.21	21.26	0.95	20.20	34.44	0	09.43.15	0	0	0
09.43.36	21.24	0.87	18.48	34.63	0	09.43.30	0	0	0
09.43.52	21.24	0.9	19.12	34.94	0	09.43.45	0	0	0
09.44.07	21.19	0.89	18.86	35.19	0	09.44.01	0	0	0
09.44.23	21.16	1.01	21.37	35.56	0	09.44.16	0	0	0
09.44.39	21.09	0.91	19.19	35.94	0	09.44.31	0	0	0
09.44.54	14.37	0.85	12.21	36.38	0	09.44.46	0	0	0
09.45.10	21.04	0.98	20.62	36.81	0	09.45.01	0	0	0
09.45.25	20.99	0.93	19.52	37.31	0	09.45.16	0	0	0
09.45.41	20.94	0.88	18.43	37.81	0	09.45.32	0	0	0
09.45.56	20.94	0.85	17.80	38.31	0	09.45.47	0	0	0
09.46.12	20.87	0.87	18.16	38.88	0	09.46.02	0	0	0
09.46.27	20.82	0.96	19.99	39.44	0	09.46.17	0	0	0
09.46.43	20.77	3	62.31	40	30.75	09.46.32	0	0	0
09.46.58	18.6	2.8	52.08	40.56	30.96	09.46.47	12.67	1.95	24.71
09.47.14	21.58	2.9	62.58	41.06	31.68	09.47.02	12.7	2.01	25.53
09.47.29	21.77	3	65.31	40.56	31.56	09.47.18	12.62	2.06	26.00
09.47.45	14.76	3.1	45.76	39.75	31.45	09.47.33	12.75	2.02	25.76
09.48.00	21.99	2.7	59.37	38.88	31.34	09.47.48	12.66	2.07	26.21
09.48.16	22.09	3	66.27	38.06	31.23	09.48.03	12.76	1.99	25.39
09.48.31	15.32	3	45.96	37.38	31.12	09.48.18	12.69	2.05	26.01
09.48.47	22.19	2.7	59.91	36.81	31.08	09.48.33	12.64	2.03	25.66
09.49.02	14.91	3	44.73	36.25	31.01	09.48.49	12.73	1.98	25.21
09.49.18	22.24	2.8	62.27	35.75	30.98	09.49.04	12.65	2.07	26.19
09.49.33	14.91	3.1	46.22	35.44	30.95	09.49.19	12.78	1.94	24.79
09.49.49	21.99	2.9	63.77	35.06	30.94	09.49.34	12.77	2.01	25.67
						09.49.49	12.6	2.06	25.96

- Selasa, 29 Agustus 2023

Waktu (Jam)	Tg. Panel (V)	A. Panel (l)	P. Panel (Watt)	T. Panel (°C)	T. Air (°C)	Waktu (Jam)	Tg. Pompa (V)	A. Pompa (l)	P. Pompa (Watt)
08.10.10	18.38	0.92	16.91	37.25	0	08.10.07	0	0	0.00
08.10.26	19.99	0.88	17.59	37.56	0	08.10.22	0	0	0.00
08.10.41	14.1	0.98	13.82	37.81	0	08.10.38	0	0	0.00
08.10.57	19.97	0.87	17.37	38.06	0	08.10.53	0	0	0.00
08.11.12	19.94	1	19.94	38.38	0	08.11.08	0	0	0.00
08.11.28	19.84	0.91	18.05	38.69	0	08.11.23	0	0	0.00
08.11.43	14.17	0.96	13.60	38.88	0	08.11.38	0	0	0.00
08.11.59	14.1	0.85	11.99	39.19	0	08.11.53	0	0	0.00
08.12.14	14.08	0.93	13.09	39.44	0	08.12.09	0	0	0.00
08.12.30	19.84	1.01	20.04	39.69	0	08.12.24	0	0	0.00
08.12.45	18.52	0.89	16.48	39.94	0	08.12.39	0	0	0.00
08.13.01	14.98	2.92	43.74	40.13	32.52	08.12.54	0	0	0.00
08.13.17	13.1	2.78	36.42	40.38	30.8	08.13.09	12.67	2.03	25.72
08.13.32	13.1	3.03	39.69	40.56	28.35	08.13.24	12.75	1.97	25.12
08.13.48	14.47	2.81	40.66	39.75	27.09	08.13.40	12.61	2	25.22
08.14.03	20.15	3	60.45	38.44	26.74	08.13.55	12.72	2.06	26.20
08.14.19	19.78	2.87	56.77	37.19	26.39	08.14.10	12.63	1.94	24.50
08.14.34	19.92	3.1	61.75	36	26.06	08.14.25	12.76	2.05	26.16
08.14.50	20.36	0.97	19.75	34.94	0	08.14.40	12.68	1.99	25.23
08.15.05	20.03	0.96	19.23	34.06	0	08.14.55	0	0	0.00
08.15.21	20.28	0.89	18.05	33.25	0	08.15.11	0	0	0.00
08.15.36	19.61	0.92	18.04	32.69	0	08.15.26	0	0	0.00
08.15.52	20.42	1	20.42	32.25	0	08.15.41	0	0	0.00
08.16.07	14.87	0.88	13.09	31.87	0	08.15.56	0	0	0.00
08.16.23	20.92	0.94	19.66	31.62	0	08.16.11	0	0	0.00
08.16.39	20.59	0.91	18.74	31.44	0	08.17.24	0	0	0.00
08.16.54	20.97	0.85	17.82	31.25	0	08.17.40	0	0	0.00
08.17.10	20.87	1.01	21.08	31.12	0	08.17.55	0	0	0.00
08.17.25	20.8	0.9	18.72	31.06	0	08.18.10	0	0	0.00
08.17.41	14.1	0.95	13.40	31	0	08.18.25	0	0	0.00
08.17.56	20.63	0.98	20.22	31	0	08.18.40	0	0	0.00
08.18.12	20.87	0.87	18.16	31.06	0	08.18.55	0	0	0.00
08.18.27	20.82	0.93	19.36	31.12	0	08.19.11	0	0	0.00
08.18.43	20.85	0.99	20.64	31.31	0	08.19.26	0	0	0.00
08.18.58	20.8	1.03	21.42	31.44	0	08.19.41	0	0	0.00
08.19.14	20.8	0.86	17.89	31.69	0	08.19.56	0	0	0.00
08.19.29	20.8	0.92	19.14	31.87	0				
08.19.45	20.77	0.89	18.49	32.06	0				

Waktu (Jam)	Tg. Panel (V)	A. Panel (I)	P. Panel (Watt)	T. Panel (°C)	T. Air (°C)	Waktu (Jam)	Tg. Pompa (V)	A. Pompa (I)	P. Pompa (Watt)
09.40.10	21.9	2.98	65.26	39.75	31.63	09.40.04	12.62	2.03	25.62
09.40.25	22.04	2.85	62.81	38.75	31.48	09.40.19	12.75	1.99	25.37
09.40.41	21.92	3.05	66.86	37.88	31.37	09.40.34	12.68	2.05	25.99
09.40.57	21.97	2.76	60.64	37.19	31.25	09.40.49	12.71	1.94	24.66
09.41.12	22.19	3.1	68.79	36.56	31.16	09.41.04	12.76	2.01	25.65
09.41.28	22.21	2.92	64.85	36	31.11	09.41.19	12.64	2.06	26.04
09.41.43	22.29	2.77	61.74	35.5	31.05	09.41.35	12.73	2	25.46
09.41.59	22.31	3	66.93	35.25	31.03	09.41.50	12.67	2.07	26.23
09.42.14	22.36	3.07	68.65	35.13	30.96	09.42.05	12.7	2.02	25.65
09.42.30	22.41	0.97	21.74	34.5	30.94	09.42.20	0	0	0.00
09.42.45	21.53	0.94	20.24	33.94	0	09.42.35	0	0	0.00
09.43.01	21.51	0.86	18.50	34.13	0	09.42.50	0	0	0.00
09.43.16	21.43	1.01	21.64	34	0	09.43.06	0	0	0.00
09.43.32	21.38	0.92	19.67	33.94	0	09.43.21	0	0	0.00
09.43.47	21.33	0.99	21.12	34	0	09.43.36	0	0	0.00
09.44.03	21.26	0.9	19.13	34.19	0	09.43.51	0	0	0.00
09.44.18	21.26	0.87	18.50	34.38	0	09.44.06	0	0	0.00
09.44.34	21.24	0.96	20.39	34.63	0	09.44.21	0	0	0.00
09.44.50	14.76	1.02	15.06	34.88	0	09.44.37	0	0	0.00
09.45.05	21.14	0.91	19.24	35.19	0	09.44.52	0	0	0.00
09.45.21	21.14	0.88	18.60	35.56	0	09.45.07	0	0	0.00
09.45.36	21.09	1	21.09	35.94	0	09.45.22	0	0	0.00
09.45.52	21.09	0.95	20.04	36.25	0	09.45.37	0	0	0.00
09.46.07	21.04	0.89	18.73	36.63	0	09.45.52	0	0	0.00
09.46.23	21.02	0.93	19.55	37	0	09.46.08	0	0	0.00
09.46.38	20.97	0.98	20.55	37.44	0	09.46.23	0	0	0.00
09.46.54	20.92	0.85	17.78	37.88	0	09.46.38	0	0	0.00
09.47.09	20.89	1.03	21.52	38.44	0	09.46.53	0	0	0.00
09.47.25	18.48	0.91	16.82	38.94	0	09.47.08	0	0	0.00
09.47.40	20.77	0.96	19.94	39.38	0	09.47.23	0	0	0.00
09.47.56	14.49	0.97	14.06	39.88	0	09.47.39	0	0	0.00
09.48.11	20.7	2.97	61.48	40.38	30.67	09.47.54	0	0	0.00
09.48.27	21.19	2.75	58.27	40.81	31.12	09.48.09	12.61	2.04	25.72
09.48.43	21.58	3.08	66.47	41.25	31.71	09.48.24	12.78	2.01	25.69
09.48.58	21.77	2.79	60.74	40.75	31.58	09.48.39	12.66	1.97	24.94
09.49.14	21.99	3.02	66.41	39.69	31.43	09.48.54	12.72	2.06	26.20
09.49.29	14.1	3	42.30	38.69	31.35	09.49.10	12.63	2.03	25.64
09.49.45	22.19	3.1	68.79	37.81	31.18	09.49.25	12.74	1.95	24.84
						09.49.40	12.69	2.07	26.27
						09.49.55	12.65	2	25.30

Lampiran E-1 Pengerjaan Rangka Panel



Lampiran E-2 Pengerjaan Bak Penampungan Air





Lampiran E-3 Kegiatan Pengambilan Data



