

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN DAN MONITORING  
PANEL SURYA BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

**PROPOSAL TUGAS AKHIR**

*Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan*



**ANJELIKA FEBIOLA**

**BP/NIM.2021/21130024**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO INDUSTRI**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**2025**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahilahirabil'alami, puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Pendingin dan Monitoring Panel Surya Berbasis *Internet of Things*”** ini dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan sebagai salah satu persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains Terapan, Program Studi Diploma IV Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis menghadapi berbagai tantangan. Namun, berkat rahmat Allah SWT serta dukungan dan arahan dari banyak pihak, penulis berhasil melewati hambatan tersebut hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan dorongan moril juga materil kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan dari awal hingga penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Krismadinata, S.T., M.T., Ph.D., selaku Rektor Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Dr. Muhammad Anwar, S.Pd, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

4. Bapak Dr. Mukhlidi Muskhir, S.Pd., M.Kom., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd., M.T, selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang.
6. Ibu Citra Dewi, S.Pd., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staff pengajar Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang yang telah memberikan ilmu yang sangat berguna bagi penulis.
8. Teman-teman seperjuangan Departemen Teknik Elektro yang selalu memberikan dorongan dan semangatnya kepada penulis selama ini.

Penulis telah menyusun Laporan Tugas Akhir ini sebaik-baiknya, namun tidak mungkin dalam laporan ini tidak ada kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi menyempurnakan laporan ini dan untuk penulisan selanjutnya. Semoga Allah SWT senantiasa meridhai segala usaha kita Aamiin dan semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca umumnya.

Padang, 12 Februari 2025

Anjelika Febiola  
21130024/2021

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	7
C. Batasan Masalah .....	8
D. Rumusan Masalah .....	8
E. Tujuan .....	9
F. Manfaat .....	10
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	11
A. Panel Surya .....	11
B. Sistem Pendingin Panel Surya .....	18
C. <i>Internet of Things</i> .....	21
D. NodeMCU ESP32 .....	22
E. Arduino IDE .....	24
F. Blynk .....	26
G. Google Sheets .....	27
H. Sensor DHT22 .....	28
I. Sensor ACS712 .....	29
J. Sensor Tegangan DC .....	30
K. Pompa DC .....	31
L. Relay .....	32
M. Aki .....	33
N. <i>Solar Charge Controller (SCC)</i> .....	34
O. <i>Flowchart</i> .....	35

<b>BAB III PERANCANGAN.....</b>	<b>37</b>
A. Diagram Blok Sistem .....	37
B. Prinsip Kerja Alat.....	39
C. Perancangan <i>Hardware</i> .....	41
1. Konstruksi Alat.....	41
2. Rangkaian Kontrol .....	42
D. Perancangan <i>Software</i> .....	44
1. Perancangan Program.....	44
2. Perancangan Antarmuka Blynk.....	45
3. Perancangan Tampilan Google Sheets .....	46
4. Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....	46
5. Rencana Pengujian.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Ilustrasi Cara Kerja Panel Surya .....	11
Gambar 2. Panel Surya Monokristal .....	12
Gambar 3. Panel Surya Polikristal .....	13
Gambar 4. <i>Thin Film Solar Cell</i> (TFSC) .....	14
Gambar 5. Sistem Pendingin Pasif.....	19
Gambar 6. Sistem Pendingin Aktif Dengan Media Air.....	20
Gambar 7. NodeMCU ESP32 .....	22
Gambar 8. Diagram Pin Board NodeMCU ESP32 .....	23
Gambar 9. Bagian-bagian <i>Software</i> Arduino IDE.....	25
Gambar 10. Aplikasi Blynk.....	27
Gambar 11. Google Sheets.....	28
Gambar 12. Sensor DHT22.....	29
Gambar 13. Sensor ACS712 .....	29
Gambar 14. Modul Sensor Tegangan DC .....	31
Gambar 15. Pompa Air DC Celup.....	32
Gambar 16. Relay.....	32
Gambar 17. Aki .....	34
Gambar 18. <i>Solar Charge Controller</i> (SCC) .....	35
Gambar 19. Blok Diagram Rancangan Sistem Keseluruhan .....	37
Gambar 20. Desain Konstruksi Alat Tampak Depan .....	41
Gambar 21. Desain Konstruksi Alat Tampak Belakang.....	41
Gambar 22. Desain Ukuran Konstruksi Alat.....	42
Gambar 23. Rangkaian Kontrol Alat.....	43
Gambar 24. Tampilan Rancangan Monitoring Data Pada Blynk.....	45
Gambar 25. Tampilan Rancangan Data di Google Sheets .....	46
Gambar 26. Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) .....	47

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Spesifikasi NodeMCU ESP32.....	23
Tabel 2. Ketentuan Pin NodeMCU ESP32 .....	24
Tabel 3. Spesifikasi Sensor ACS712.....	30
Tabel 4. Spesifikasi Sensor Tegangan .....	31
Tabel 5. Simbol dan Keterangan <i>Flowchart</i> .....	36
Tabel 6. Susunan Pin Rangkaian Kontrol .....	43

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Energi listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam penggerak utama hampir semua aspek aktivitas manusia. Listrik mendukung perkembangan dan berkontribusi terhadap kemajuan teknologi, sosial, ekonomi dan kesehatan. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi serta industri yang pesat, permintaan akan energi listrik pun mengalami peningkatan yang signifikan. Untuk memenuhi kebutuhan listrik khususnya di Indonesia yang terus meningkat ini, diperlukan inovasi dalam pengembangan sumber energi terbarukan. Salah satunya adalah pembangkit listrik dengan memanfaatkan sumber energi matahari (Kharisma et al., 2024).

Pembangkit listrik berbasis energi terbarukan dengan memanfaatkan energi matahari menyediakan sumber daya yang melimpah dan berkelanjutan. Energi ini di hasilkan melalui panel surya yang merupakan bahan semikonduktor yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik. Selain ramah lingkungan karena proses konversinya tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara, energi surya juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan berfluktuasi harganya (Atonergi, 2023). Indonesia memiliki potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang sangat besar, mencapai sekitar 3.686 GW. Dari total kapasitas pembangkit listrik nasional sebesar 81,2 GW, 86% pasokan listrik masih berasal dari energi fosil dan 64% berasal dari batubara. Panel surya



sebagai salah satu teknologi utama dalam memanfaatkan energi surya menjadi kunci penting dalam melakukan transisi energi. Dengan mengoptimalkan pemanfaatan panel surya, Indonesia memiliki peluang besar untuk meningkatkan kapasitas energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim (ESDM, 2023).

Panel surya merupakan perangkat semikonduktor dengan bidang penyerapan cahaya yang luas, berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya tipe monokristal memiliki efisiensi paling tinggi dibandingkan tipe lainnya, dengan kemampuan menghasilkan daya listrik terbesar per satuan luas, mencapai efisiensi sekitar 15%, namun performa panel ini sangat tergantung pada intensitas cahaya matahari, sehingga kurang optimal jika ditempatkan di area yang teduh atau saat cuaca mendung. Sedangkan panel polikristal meski memerlukan area permukaan yang lebih luas untuk menghasilkan jumlah energi yang sama dengan panel monokristal, panel ini memiliki keunggulan dalam hal kestabilan produksi energi, karena tetap mampu berfungsi dengan baik meskipun dalam kondisi cuaca berawan dan harganya yang cenderung lebih terjangkau (Purwoto et al., 2018).

Intensitas cahaya dan posisi panel surya terhadap matahari memiliki pengaruh terhadap daya keluaran yang dihasilkan. Semakin tinggi intensitas matahari maka semakin besar arus yang dihasilkan sehingga daya yang dihasilkan juga akan meningkat. Selanjutnya, pada posisi panel, ketika

sudut panel mendekati posisi tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari maka tegangan maupun arus akan meningkat yang pada gilirannya juga akan meningkatkan daya keluaran yang dihasilkan panel surya (Suwarti et al., 2019). Sudut  $10^\circ$  direkomendasikan sebagai sudut optimal karena mampu menyerap radiasi matahari paling besar pada waktu puncak siang hari dan menghasilkan daya keluaran tertinggi (Sugiono et al., 2022). Namun demikian, tingginya intensitas cahaya dan paparan sinar matahari dalam jangka waktu lama juga menyebabkan peningkatan suhu pada permukaan panel. Peningkatan suhu ini justru berdampak negatif terhadap kinerja panel, karena dapat menurunkan tegangan keluaran secara signifikan. Walaupun arus mungkin sedikit meningkat, penurunan tegangan menyebabkan total daya yang dihasilkan menjadi lebih rendah, sehingga efisiensi panel surya pun menurun. Untuk mengatasi permasalahan ini, dibutuhkan sistem pendingin yang mampu menurunkan suhu kerja panel dan menjaga kinerja optimalnya (Laksana et al., 2022).

Sistem pendinginan pada panel surya terdapat dua metode yaitu metode pendingin pasif dan pendingin aktif. Metode pendinginan pasif pada panel surya memanfaatkan mekanisme alami tanpa memerlukan energi tambahan, seperti penggunaan *Phase Change Material* (PCM) yang berfungsi menyerap panas pada panel surya. Penggunaan PCM terbukti mampu menurunkan suhu panel surya hingga 2,07% dan meningkatkan daya keluaran sebesar 1,85% (Setiawan et al., 2023). Sedangkan metode pendinginan aktif melibatkan perangkat tambahan seperti penggunaan kipas

dan media air untuk membantu proses penurunan suhu pada panel surya. Pendinginan panel surya menggunakan kipas dapat mengurangi suhu sebesar 6% hingga 26% dengan peningkatan daya keluaran sebesar 10,8%, sedangkan menggunakan media air dapat menurunkan suhu panel surya sebesar 20,5% hingga 35,4% dengan peningkatan daya keluaran sebesar 12,29%. Hasil ini menunjukkan bahwa pendingin aktif dengan media air mampu efektif menurunkan suhu dan meningkatkan daya keluaran panel surya dibandingkan dengan menggunakan kipas (Al-Masalha et al., 2024).

Dalam prosesnya panel surya memerlukan suhu optimal sekitar 25°C, namun pada siang hari, suhu pada panel dapat meningkat hingga 45°C. Pada tiga percobaan penyiraman air bersuhu 25–28°C, 60–70°C, dan tanpa air diperoleh efisiensi masing-masing sebesar 12,40% (21,26 W), 11,42% (19,58 W), dan 11,86% (20,34 W). Hal ini menunjukkan bahwa menggunakan media pendingin air dengan suhu rendah jauh lebih unggul meningkatkan daya keluaran panel surya dibandingkan dengan media air dengan suhu tinggi dan tanpa media sekalipun (Ariksa et al., 2024).

Beberapa penelitian dan analisa terkait perancangan sistem pendinginan untuk panel surya yang telah dilakukan, pertama membahas pendinginan pada panel surya dengan menggunakan media air dengan cara di semprotkan ke permukaan panel surya. Dalam studi ini, sebuah sistem pendinginan untuk panel surya telah dirancang dengan menggunakan metode penyemprotan air dan pengaturan suhu air. Ketika suhu panel surya mencapai 40°C, pompa yang ada di bak penampungan air akan mulai

berfungsi untuk mengalirkan air ke permukaan panel surya. Hal ini memungkinkan suhu panel surya dikendalikan agar tetap di bawah 40°C. Pengendalian suhu air dilakukan untuk memastikan suhu dalam bak penampungan tidak melebihi 39°C. Sistem pendinginan yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil meningkatkan daya keluaran panel surya hingga 30,19%. Namun kelemahan pada penelitian ini adalah pengambilan data yang dilakukan secara manual sehingga dinilai kurang efektif karena pengumpulan data memakan waktu dan tenaga, serta data yang diperoleh tidak didapatkan secara *real time* (Laksana et al., 2022).

Penelitian selanjutnya membahas perancangan sistem pendingin yang dilengkapi dengan monitoring via android. Pada penelitian ini pendinginan pada panel dilakukan dengan hal yang sama seperti penelitian di atas, yang mana mengalirkan air ke permukaan panel surya ketika suhu panel berada pada set poin yang telah ditentukan. Pada penelitian ini pendingin bekerja pada suhu lebih dari 31°C dan akan berhenti jika suhu kurang dari 28°C. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pendingin sangat berpengaruh terhadap panel surya dengan selisih perbandingan daya sebesar 0,51 Watt. Selain itu, monitoring daya yang dihasilkan panel surya dapat di monitoring via android dengan memanfaatkan koneksi internet. Namun pada penelitian ini juga terdapat kekurangan, yang mana mikrokontroller yang digunakan adalah Arduino uno, yang mana untuk mendapatkan data online via androidnya harus menggunakan modul

tambahan seperti Wemos D1 mini, sehingga dinilai kurang efektif karena terlalu rumit pada sistem rangkaiannya (Maulidin et al., 2021).

Adanya permasalahan tersebut diperlukan sebuah sistem monitoring yang andal dalam mengawasi perkembangan dan kinerja serta kondisi dari sistem tersebut, seperti halnya pada penelitian oleh Arisandi & Sunardi (2024), yang mana pada penelitian ini menggunakan mikrokontroller NodeMCU ESP32 dengan proses pendinginan panel surya yang dilakukan dengan mengalirkan percikan air ke permukaan panel surya ketika suhu  $> 40^{\circ}\text{C}$  dan berhenti ketika suhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Hasil yang didapatkan melalui sensor berupa suhu, arus dan tegangan dapat di monitoring dengan memanfaatkan *Internet of Things* melalui platform Blynk. Pengimplementasian sistem monitoring berbasis *Internet of Things* ini memungkinkan pengawasan kinerja dan kondisi dalam jarak jauh secara *real time* (Arisandi & Sunardi, 2024). Namun kelemahan pada penelitian ini adalah keterbatasan pada pemantauan secara *real time* saja dan tidak terdapat fitur perekaman data (*data logger*) yang memungkinkan data di rekam dan disimpan dari waktu ke waktu untuk analisis lebih lanjut.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut maka dilakukan pengembangan dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pendingin dan Monitoring Panel Surya Berbasis *Internet of Things*”. Sistem pendingin ini menggunakan mikrokontroller NodeMCU ESP32, yang bekerja dengan mengalirkan air ke permukaan panel surya ketika suhunya mencapai  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  dengan bantuan pompa DC, kemudian pompa akan mati ketika suhu sudah

turun mencapai  $\leq 36^{\circ}\text{C}$ , dengan proses on/off menggunakan relay yang bekerja berdasarkan data yang di terima mikrokontroller dari sensor suhu DHT22. Tugas akhir ini juga dirancang dengan monitoring secara *real time* melalui *platform* Blynk dan perekaman *data logger* yang memantau daya keluaran panel surya, termasuk data suhu, arus, dan tegangan dari waktu ke waktu melalui Google Sheets. Jadi, pembeda antara tugas akhir ini dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah, tugas akhir ini merupakan gabungan dan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka didapatkan pokok permasalahan yang menjadi acuan dari penyelesaian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Permintaan akan energi listrik yang terus meningkat, ditambah dengan keterbatasan pembangkit listrik konvensional dalam memproduksi energi, serta dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, mendorong penyedia energi untuk mencari sumber alternatif dalam menghasilkan listrik.
2. Penurunan daya keluaran panel surya yang diakibatkan oleh kenaikan suhu pada proses pengkonversian energi matahari menjadi energi listrik.
3. Pengumpulan data terhadap kinerja sistem panel surya dan pendingin yang dilakukan secara manual, yang dapat menyebabkan kurangnya data kinerja secara *real time* dan keterlambatan dalam mengolah data.

### C. Batasan Masalah

Dalam perancangan tugas akhir diperlukan batasan masalah untuk menghindari perluasan pembahasan dalam perancangan, adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini membandingkan kinerja dua buah panel surya polikristal 10 Wp dengan pendingin dan tanpa pendingin. Dengan menggunakan sensor DHT22, sensor ACS712 dan sensor tegangan.
2. Sistem pendingin bekerja dengan mengalirkan air ke permukaan panel surya secara otomatis menggunakan pompa DC saat suhu panel surya mencapai  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  dan pompa akan mati saat suhu panel surya turun mencapai  $\leq 36^{\circ}\text{C}$ . Proses on/off pompa DC dibantu oleh relay yang bekerja berdasarkan suhu yang diterima oleh NodeMCU ESP32 dari sensor DHT22.
3. Pengujian alat dilakukan pada keadaan cuaca cerah.
4. Sistem pendingin panel surya ini dapat di monitoring secara *real time* menggunakan *smartphone* melalui *platform* Blynk dan perekaman *data logger* menggunakan Google Sheets.

### D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas maka dapat dirumuskan permasalahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini berupa:

1. Bagaimana cara merancang sistem pendingin pada panel surya secara otomatis untuk menjaga suhu pada panel surya tetap dan tidak melebihi batas optimalnya?

2. Bagaimana cara merancang sistem monitoring daya yang dihasilkan panel surya berbasis *Internet of Things* untuk melihat kinerja panel surya secara *real time*?
3. Bagaimana keefektifan kinerja sistem pendingin panel surya yang dibuat dalam menjaga daya keluaran panel surya?

#### **E. Tujuan**

Berdasarkan uraian di atas maka tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Merancang dan membuat alat yang dapat mendinginkan panel surya secara otomatis dengan set poin yang ditentukan untuk menjaga daya keluaran yang dihasilkan panel surya.
2. Memonitoring daya yang dihasilkan panel surya secara *real time* menggunakan *smartphone* melalui *platform* Blynk dan menyimpan *data logger* melalui Google Sheets.
3. Menganalisa keefektifan sistem pendingin dari perbandingan daya keluaran panel surya ketika menggunakan pendingin dan tanpa pendingin, guna mengetahui besar pengaruh penggunaan pendingin dengan media air untuk menjaga dan meningkatkan daya keluaran panel surya.



## **F. Manfaat**

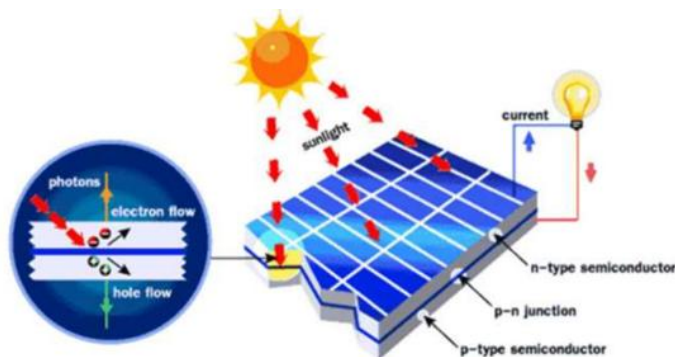
Adapun beberapa manfaat dari penyelesaian tugas akhir ini diantaranya adalah:

1. Sistem ini dapat digunakan untuk mendinginkan panel surya secara otomatis, yang membantu menjaga daya keluaran yang dihasilkan panel surya.
2. Sistem ini menyimpan dan memonitoring data daya keluaran yang dihasilkan panel surya untuk keperluan analisa terkait teori yang ada.
3. Dengan adanya sistem ini, suhu pada panel surya dapat terjaga sehingga panel surya dapat bekerja secara optimal.

## BAB II LANDASAN TEORI

### A. Panel Surya

Panel surya adalah alat yang berfungsi untuk mengubah energi dari sinar matahari menjadi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaiik yang terdiri dari sebuah wilayah-besar diode p-n junction yang dengan cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik, pengubahan ini disebut efek fotovoltaiik (Purwoto et al., 2018). Dua jenis semikonduktor, yaitu tipe N dan P, jika digabungkan akan membentuk sambungan p-n atau junction p-n. Proses penggabungan kedua jenis semikonduktor ini menyebabkan terjadinya pergerakan elektron dari semikonduktor tipe N ke semikonduktor tipe P, serta pergerakan hole dari semikonduktor tipe P ke semikonduktor tipe N. Pergerakan baik elektron maupun hole ini hanya berlangsung hingga jarak tertentu dari batas sambungan awal (Suyanto et al., 2024).



Gambar 1. Ilustrasi Cara Kerja Panel Surya  
Sumber: (Helmi, 2024)

Berdasarkan bahan pembuatnya, panel surya terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

### **1. Monokristal**

Panel surya monokristal merupakan Panel yang paling efisien dihasilkan dengan teknologi terbaru dan mampu menghasilkan daya listrik tertinggi per unit luas. Panel monokristal dirancang untuk digunakan di lokasi yang membutuhkan konsumsi listrik tinggi, terutama di daerah dengan iklim ekstrem dan kondisi lingkungan yang sangat keras. Efisiensinya dapat mencapai 15%, namun kurang optimal di tempat dengan sinar matahari terbatas (teduh), dan efisiensinya akan menurun secara signifikan saat cuaca mendung (Purwoto et al., 2018). Bentuk panel surya monokristal dapat dilihat pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Panel Surya Monokristal

## 2. Polikristal

Panel surya polikristal merupakan panel surya yang terdiri dari susunan kristal yang acak karena diproduksi melalui proses pengecoran. Tipe ini memerlukan area permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan panel monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang setara. Bentuk panel surya polikristal dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Panel Surya Polikristal

Efisiensi panel jenis ini lebih rendah daripada tipe monokristal dan harganya cenderung lebih terjangkau (Purwoto et al., 2018). Sehingga panel ini sangat efisien dan cocok untuk digunakan dalam praktek pengujian.

## 3. *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

*Thin Film Solar Cell (TFC)* merupakan jenis panel surya yang memiliki ukuran yang sangat tipis, memiliki bobot yang lebih ringan dan fleksibel. Panel surya ini bekerja baik pada cahaya fluorescent atau

cahaya lampu pijar yang banyak dijadikan sebagai alat penerangan baik di rumah maupun di kantor. Bentuk panel surya *Thin Film Solar Cell* (TFSC) dapat dilihat pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. *Thin Film Solar Cell* (TFSC)

Efisiensi yang dimiliki panel ini cukup rendah dan hanya bisa mendapatkan penangkapan cahaya matahari sebesar 8,5% untuk penampang yang luasnya sama dengan monokristal. Sel surya jenis ini sangat tipis sehingga sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (*Thin Film Photovoltaic*) (Suwarti et al., 2019).

Berdasarkan kinerjanya, panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas radiasi matahari adalah jumlah energi yang diterima oleh suatu area per unit luas dan per unit waktu. Dengan adanya unsur waktu, pengukuran ini juga mencakup durasi penyinaran atau lamanya sinar matahari dalam sehari (Hidayat & Sutrisno, 2021). Arus yang

dihasilkan oleh panel surya sangat bergantung terhadap intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaannya. Semakin besar intensitas matahari maka arus yang dihasilkan akan semakin besar dan tegangannya cenderung tetap, selain itu semakin besar intensitas matahari maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Daya yang dihasilkan panel surya, adalah sama dengan hasil kali arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya, seperti persamaan 1 berikut (Suwarti et al., 2019):

$$P_{out} = V \times I \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$P_{out}$  : Daya keluaran panel surya (Watt)  
 $V$  : Tegangan kerja panel surya (Volt)  
 $I$  : Arus kerja panel surya (Ampere)

## 2. Suhu

Suhu memiliki pengaruh besar terhadap efisiensi panel surya. Semakin tinggi suhu permukaan panel, semakin rendah tegangan yang dihasilkan, sementara arus cenderung tetap. Namun, perlu dicatat bahwa dengan meningkatnya suhu permukaan, daya yang dihasilkan justru akan semakin kecil (Suwarti et al., 2019). Hubungan antara suhu dengan daya panel surya dapat dijelaskan dengan persamaan 2 berikut (Nizamov, 2024):

$$P = P_{STC} \times (1 + \beta \times (T - T_{STC})) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- $P$  : Daya keluaran aktual pada suhu tertentu  
 $P_{STC}$  : Daya keluaran pada kondisi standar (10Wp)  
 $\beta$  : Koefisien suhu (-0,004)  
 $T$  : Suhu panel surya pada saat pengukuran  
 $T_{STC}$  : Suhu pada kondisi standar (25°C)

Pada tugas akhir ini batas suhu untuk mengaktifkan sistem pendingin adalah ketika suhu panel surya mencapai  $\geq 40^\circ$  dan nonaktif ketika suhu turun mencapai  $\leq 36^\circ$ . Pemilihan suhu  $40^\circ\text{C}$  sebagai batas set poin untuk mengaktifkan sistem pendingin dan  $36^\circ\text{C}$  sebagai batas untuk mematikan sistem pendingin pada panel surya didasarkan pada hasil-hasil penelitian sebelumnya serta pertimbangan teknis dan efisiensi kerja sistem. Berdasarkan data yang telah dipaparkan, diketahui bahwa efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh suhu operasionalnya. Pada suhu optimal sekitar  $25^\circ\text{C}$ , panel surya dapat bekerja dengan efisiensi terbaik, namun pada kondisi siang hari, suhu panel dapat meningkat hingga  $45^\circ\text{C}$ , yang menyebabkan penurunan tegangan dan efisiensi panel secara signifikan (Ariksa et al., 2024). Penelitian oleh Laksana et al. (2022) dan Arisandi & Sunardi (2024) juga menggunakan suhu  $40^\circ\text{C}$  sebagai batas atas pengaktifan pendingin air, karena pada suhu tersebut penurunan efisiensi dan daya panel surya terlihat signifikan.

Sementara itu, batas bawah  $36^\circ\text{C}$  dipilih agar sistem pendingin tidak bekerja secara terus-menerus, sehingga dapat menghemat penggunaan air dan energi listrik untuk pompa. Batas bawah ini juga

memberikan rentang kerja yang cukup agar proses pendinginan berjalan efektif dan tidak terjadi siklus on/off yang terlalu sering, yang dapat mengurangi umur komponen sistem. Dengan demikian, pemilihan suhu 40°C dan 36°C sebagai batas set point merupakan pilihan untuk menjaga efisiensi panel surya dan keandalan sistem pendingin secara keseluruhan.

### 3. Posisi Panel Terhadap Matahari

Posisi panel surya, khususnya sudut kemiringan dan orientasi terhadap arah datangnya sinar matahari, memiliki pengaruh signifikan terhadap daya keluaran yang dihasilkan. Dalam penelitian ditemukan bahwa sudut pengarah optimal adalah 10°, di mana panel surya diposisikan tegak lurus terhadap arah sinar matahari. Pada posisi ini, intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel menjadi maksimal, sehingga menghasilkan daya keluaran yang lebih besar. Sebaliknya, jika sudut kemiringan panel tidak optimal atau tidak tegak lurus terhadap sinar matahari, jumlah radiasi yang diterima berkurang, yang berdampak pada penurunan daya keluaran. Penelitian ini juga mengungkap bahwa semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diserap oleh panel, arus listrik yang dihasilkan meningkat, sementara tegangan cenderung tetap stabil. Oleh karena itu, posisi dan orientasi panel surya sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi dan output energi listrik dari sistem tenaga surya (Sugiono et al., 2022).



#### 4. Kondisi Cuaca

Pengaruh kondisi cuaca terhadap daya keluaran panel surya sangat signifikan, seperti yang dijelaskan dalam beberapa penelitian. Dalam penelitian oleh Suwarti et al. (2019), ditemukan bahwa kondisi cuaca cerah menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi cuaca berawan. Pada saat cuaca cerah, panel surya dapat mencapai suhu optimal dan memproduksi daya maksimum, sementara pada kondisi berawan, intensitas radiasi matahari yang diterima berkurang, sehingga daya keluaran juga menurun. Selain itu, pada kondisi cuaca yang buruk seperti hujan dan badai juga dapat membawa kabut dan debu sehingga menempel pada permukaan panel surya yang dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi meski dalam jumlah yang kecil.

#### **B. Sistem Pendingin Panel Surya**

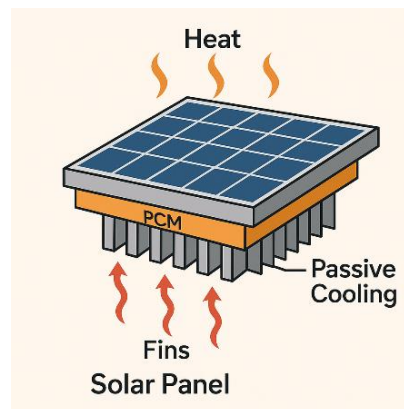
Sistem pendingin pada panel surya bertujuan untuk mengurangi suhu operasional panel guna meningkatkan efisiensi dan daya keluaran. Berdasarkan penelitian, sistem pendingin ini terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu pendingin pasif dan pendingin aktif, berikut penjelasannya:

##### 1. Pendingin Pasif

Sistem pendingin pasif adalah metode yang digunakan untuk menurunkan suhu panel surya tanpa memerlukan sumber daya eksternal. Sistem ini mengandalkan mekanisme alami untuk

mengalirkan udara atau cairan, sehingga membantu menjaga suhu panel agar tetap dalam rentang optimal untuk efisiensi maksimum.

Beberapa metode pendinginan pasif yang umum diterapkan meliputi penambahan sirip (*fins*) pada permukaan belakang panel untuk meningkatkan luas permukaan pembuangan panas dan integrasi material berubah fase (PCM) yang dapat menyerap panas laten. *Phase change material* (PCM) bekerja dengan menyerap atau melepaskan panas laten selama proses perubahan fase biasanya dari padat ke cair saat suhu naik, dan dari cair ke padat saat suhu turun.



Gambar 5. Sistem Pendingin Pasif

PCM berbasis parafin dapat menurunkan suhu panel hingga 2,07% dan meningkatkan output daya sebesar 1,85% (Setiawan et al., 2023).

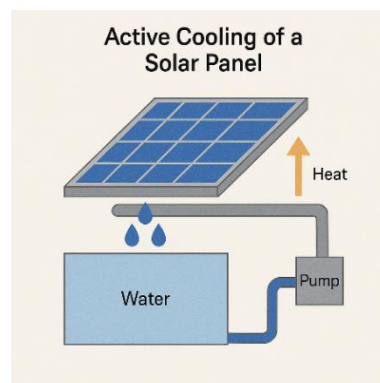
## 2. Pendingin Aktif

Sistem pendingin aktif adalah metode yang digunakan untuk menurunkan suhu panel surya dengan memanfaatkan sumber daya eksternal, seperti melibatkan komponen elektronik atau listrik. Contoh

umum termasuk sistem pendingin air dan kipas yang bekerja secara signifikan dalam waktu singkat dan bekerja baik dalam menurunkan suhu pada panel surya.

Sistem pendingin aktif ini memungkinkan perpindahan panas yang dipercepat melalui proses konveksi paksa dimana koefisien perpindahan panas meningkat secara signifikan dibandingkan dengan konveksi alami, sehingga memungkinkan pengurangan suhu operasional panel surya dibawah kondisi radiasi matahari intensitas tinggi.

Metode pendinginan aktif yang menggunakan media air yang dialirkan ke permukaan panel saat mencapai batas suhu yang ditentukan mampu meningkatkan efisiensi mencapai 52% dengan daya 23,74 Watt dibandingkan yang tidak berpendingin (Achmad et al., 2023).



Gambar 6. Sistem Pendingin Aktif Dengan Media Air

Dalam tugas akhir ini, peneliti memilih sistem pendingin aktif dengan media air yang di rancang untuk menurunkan suhu pada panel

surya untuk meningkatkan daya keluaran panel surya dengan cara mengontrol suhu operasional panel agar tetap dalam rentang optimal.

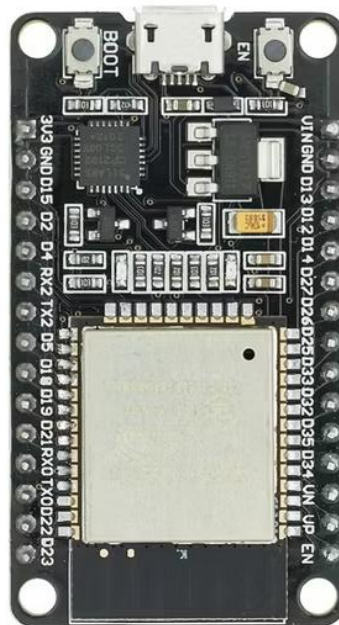
### **C. *Internet of Things (IoT)***

*Internet of Things (IoT)* dapat diartikan sebagai sebuah sistem yang menghubungkan berbagai perangkat sehari-hari, seperti smartphone, sensor, dan aktuator ke jaringan internet. Melalui koneksi ini, perangkat-perangkat tersebut dapat saling terhubung dan berinteraksi, menciptakan cara baru dalam berkomunikasi antara benda-benda tersebut dan manusia. Pada dasarnya, *Internet of Things (IoT)* adalah sebuah konsep di mana objek atau perangkat fisik dilengkapi dengan teknologi seperti sensor dan perangkat lunak, memungkinkan mereka untuk saling berkomunikasi, dikendalikan, dihubungkan, dan bertukar data dengan perangkat lain selama terhubung ke internet (Gunoto et al., 2022).

Dalam penelitian ini, konsep *Internet of Things (IoT)* akan diimplementasikan dengan tujuan menghubungkan perangkat keras seperti sensor yang mengukur suhu, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan ke dalam suatu jaringan tertentu. Melalui koneksi ini, data yang dikumpulkan oleh sensor dapat diakses dan dipantau secara *real time*. Selain itu dapat merekam data (*data logger*) dari waktu ke waktu untuk memungkinkan analisis dan pengelolaan yang lebih efektif.

#### D. NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah mikrokontroler *System on Chip* (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai penerus ESP8266. ESP32 telah dilengkapi dengan konektivitas Wifi dan Bluetooth terintegrasi untuk berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang memerlukan koneksi *wireless*. ESP32 memiliki inti CPU yang lebih cepat, dilengkapi dengan Wi-Fi berperforma tinggi, jumlah GPIO yang lebih banyak, serta dukungan Bluetooth 4.2. Dengan konsumsi daya yang rendah, perangkat ini sangat ideal untuk pengembangan berbagai proyek elektronika berbasis *Internet of Things* (IoT). Bentuk NodeMCU ESP32 dapat dilihat pada gambar 7 berikut:

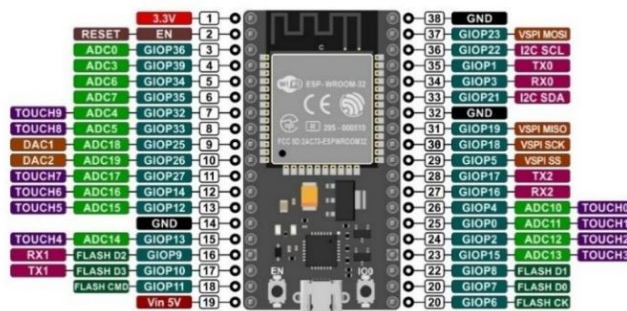


Gambar 7. NodeMCU ESP32

Tabel 1. Spesifikasi NodeMCU ESP32

Spesifikasi	Nilai
Operating Voltage	3,3 V
Input Voltage	7-12 V
Digital Input Output Pin (DIO)	25
Analog Input Pin (ADC)	6
Analog Output Pin (DAC)	2
UART	3
SPI	2
I2C	3
Flash Memory	4 MB
SRAM	520 kB
Clock Speed	240 mHz
Arus DC per I/O	40 mA
Wifi	802.11 b/g/n/e/i
Mode Supported	AP, STA, AP+STA

Fitur ADC (*analog to digital Converter*) dan DAC (*Digital To Analog Converter*) spesifik dapat digunakan hanya pada pin -pin tertentu saja. Sedangkan fitur UART, I2C, SPI, PWM dapat diaktifkan secara *programmatically*. Berikut adalah diagram pin – pin pada *development Board* NodeMCU ESP32:



Gambar 8. Diagram Pin Board NodeMCU ESP32

Meskipun demikian, tidak semua pin pada ESP32 yang memiliki fitur tertentu dapat digunakan untuk segala kebutuhan dalam sebuah proyek. Berikut adalah tabel yang menunjukkan ketentuan pin-pin yang paling baik digunakan sebagai input, output, serta beberapa catatan penting yang perlu diperhatikan saat memilih pin yang akan digunakan.

Tabel 2. Ketentuan Pin NodeMCU ESP32

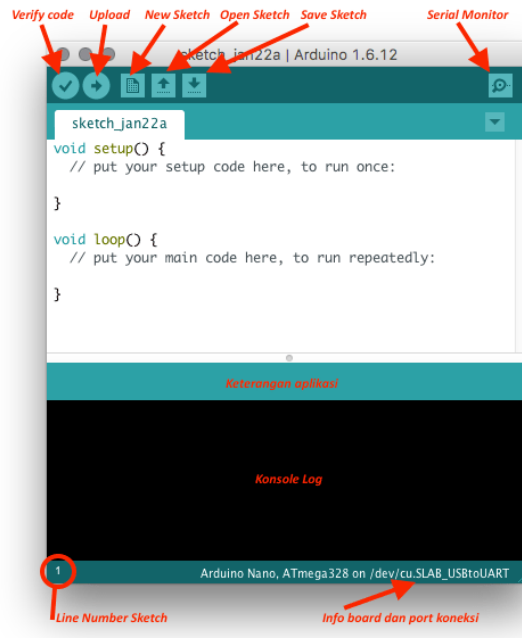
GPIO	Input	Output	Catatan
0	Pulled up	OK	Output sinyal PWM saat boot
1	TX pin	OK	Output debug saat boot
2	OK	OK	Terhubung ke LED on board
3	OK	TX pin	HIGH saat boot
4	OK	OK	
5	OK	OK	Output sinyal PWM saat boot
6-11	X	X	Terhubung dengan SPI Flash terintegrasi
12	OK	OK	
13-35	OK	OK	
36-38	OK		Hanya Input

### E. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan *software* yang digunakan untuk membuat program pada *board* NodeMCU ESP32. Kode program yang dituliskan pada *software* arduino IDE disebut dengan sketch (Gunoto et al., 2022).

Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-*upload* ke *board* yang ditentukan, dan meng-*coding* program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan *library*

C/C++(*wiring*), yang membuat operasi *input/output* lebih mudah. Bagian-bagian dari *software* arduino IDE dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini:



Gambar 9. Bagian-bagian *Software* Arduino IDE

1. *Verify* atau *compile* digunakan untuk memverifikasi sketch sebelum di upload pada *board* mikrokontroler untuk melihat apakah sketch yang dibuat sudah sesuai atau masih ada terjadinya kesalahan.
2. *Upload* yang merupakan tombol untuk meng-*upload* sketch ke board mikrokontroller.
3. *New Sketch* digunakan untuk membuka window dan membuat sketch baru.
4. *Open Sketch* digunakan untuk membuka sketch yang sudah pernah dibuat sebelumnya, dengan ekstensi file *.ino*.
5. *Save Sketch* digunakan untuk menyimpan sketch.



6. *Serial Monitor* digunakan untuk membuka interface untuk komunikasi serial.
7. Keterangan Aplikasi merupakan tempat di mana pesan-pesan dari aplikasi yang akan muncul seperti *Compiling* dan *Done uploading* ketika meng-*compile* dan mengupload sketch ke *board* mikrokontroller.
8. *Konsol Log* merupakan tempat di mana pesan-pesan dari aplikasi muncul tentang sketch. Seperti terjadinya kesalahan sketch yang dibuat maka informasi error dan barisnya akan diinformasikan di bagian ini.
9. Baris *Sketch* merupakan bagian yang akan menunjukkan posisi baris kursor yang sedang aktif pada sketch.
10. Informasi *Board* dan *Port* berfungsi menginformasikan *port* yang dipakai oleh *board* mikrokontroller.

## F. Blynk

Blynk adalah sebuah *platform* yang kompatibel dengan perangkat iOS dan Android, dirancang khusus untuk mengontrol berbagai modul seperti Arduino, Raspberry Pi, Wemos, dan modul sejenisnya melalui koneksi internet. Blynk dilengkapi dengan berbagai fitur yang memudahkan pengguna dalam mengoperasikannya. Sebagai layanan *Internet of Things* (IoT), Blynk memungkinkan pengguna untuk membuat *remote control* dan membaca data sensor dari perangkat dengan cara yang cepat dan efisien. Selain itu, Blynk menawarkan solusi end-to-end yang menghemat waktu dan sumber daya dalam pengembangan aplikasi untuk produk dan layanan yang terhubung (Gunoto et al., 2022).



Gambar 10. Aplikasi Blynk

Salah satu modul yang sering digunakan bersama *platform* Blynk adalah NodeMCU ESP32, sebuah modul mikrokontroler yang sangat populer karena dilengkapi dengan fitur Wifi dan Bluetooth bawaan. Kemampuannya untuk terhubung ke jaringan nirkabel membuat ESP32 menjadi pilihan ideal untuk proyek-proyek IoT, termasuk sistem monitoring dan kontrol yang memerlukan komunikasi data secara *real time*. Selain itu, ESP32 juga dikenal karena kinerjanya yang handal, konsumsi daya yang efisien, serta dukungan terhadap berbagai protokol komunikasi, sehingga memudahkan integrasi dengan aplikasi berbasis Blynk.

#### **G. Google Sheets**

Google Sheets adalah salah satu program yang termasuk dalam Google Docs Editors Suite, sebuah rangkaian aplikasi berbasis web yang disediakan secara gratis oleh Google. Selain Google Spreadsheet, suite ini juga mencakup layanan lain seperti Google Docs, Google Slides, Google Forms, Google Sites, Google Keep, dan Google Drawings. Google Spreadsheet dirancang untuk digunakan secara online dengan dukungan penyimpanan berbasis cloud melalui Google Drive, memungkinkan

pengguna untuk mengakses dan mengelola data dari berbagai perangkat dengan koneksi internet. Seperti halnya Microsoft Excel, Google Spreadsheet menawarkan berbagai fitur canggih yang mendukung pengolahan data, analisis, serta kolaborasi secara *real time* (Mubarak 'aafi et al., 2022).



Gambar 11. Google Sheets

Google Sheets dapat berfungsi sebagai sistem penyimpanan dan pemantauan data dalam proyek IoT. Dalam Tugas Akhir ini Google sheet digunakan sebagai aplikasi penyimpanan data dari sensor secara otomatis dari waktu ke waktu seperti data suhu, tegangan dan arus serta status pompa air DC dari panel surya.

## H. Sensor DHT22

DHT22 adalah module sensor yang berfungsi untuk mensensing objek suhu dan kelembaban yang memiliki output tegangan analog yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan mikrokontroler. DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu yang luas, yaitu dari  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $80^{\circ}\text{C}$  dengan akurasi  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , serta rentang kelembaban 0% hingga 100% RH dengan akurasi  $\pm 2\%$  RH. Resolusi pengukuran sensor ini juga sangat detail, yaitu

0,1°C untuk suhu dan 0,1% RH untuk kelembaban, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi.

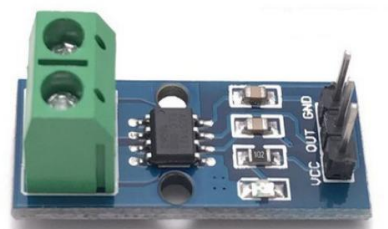


Gambar 12. Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah penerus dari modul DHT11. Sensor ini lebih akurat dan presisi dibandingkan dengan DHT11, sehingga sangat cocok digunakan pada proyek ini untuk mendapatkan data suhu dalam monitoring panel surya.

### I. Sensor ACS712

ACS712 adalah *Hall Effect current sensor*. *Hall Effect current* ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam mengontrolan motor, deteksi beban listrik, proteksi beban berlebih dan switched-mode power supplies. Bentuk sensor arus dapat dilihat pada gambar 13 berikut:



Gambar 13. Sensor ACS712

Fitur yang di miliki ACS712 sebagai berikut:

Tabel 3. Spesifikasi Sensor ACS712

Spesifikasi	Nilai
Tegangan kerja	5 VDC
Rise Time Output	5 $\mu$ s
Bandwidth	80 kHz
Total Kesalahan Output	1,5% pada suhu kerja TA= 25°C
Tahanan konduktor internal	1,2 m $\Omega$
Tegangan isolasi minimum	2,1 kVRMS antara pin 1-4 dan pin 5-8
Sensitivitas output	185 mV/A
Kemampuan mengukur arus AC/DC	5 A

#### J. Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengukur dan memantau besaran tegangan listrik dalam suatu sistem atau rangkaian elektronik. Cara kerjanya adalah dengan mengubah besaran tegangan menjadi sinyal yang dapat diukur atau diproses lebih lanjut, baik dalam bentuk sinyal analog maupun digital. Prinsip kerja modul sensor tegangan didasarkan pada konsep pembagian resistansi (*voltage divider*), yang mampu menurunkan tegangan input hingga 5 kali lebih kecil dari tegangan aslinya (Wulandari & Ardiyanto, 2018). Bentuk modul sensor tegangan seperti ditunjukkan pada gambar 14 berikut:



Gambar 14. Module Sensor Tegangan DC

Fitur yang di miliki sensor tegangan DC:

Tabel 4. Spesifikasi Sensor Tegangan DC

Spesifikasi	Nilai
Variasi Input	DC 0 - 25 V
Tegangan Resolusi Analog	0,00489 V
Tegangan Deteksi	0.02445–25 V DC
Tegangan Output	Proporsional terhadap input (rasio 1:5)
Tegangan Kerja	5 V DC
Ukuran Modul	25 mm × 13 mm

#### K. Pompa DC

Pompa DC adalah alat yang memanfaatkan motor listrik arus searah (*Direct Current*) sebagai sumber tenaga untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya. Pada pompa ini, motor DC beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana arus listrik mengalir melalui kumparan untuk menghasilkan rotasi yang menggerakkan impeller pompa.



Gambar 15. Pompa Air DC Celup

Pada tugas akhir ini, tipe pompa air yang digunakan adalah pompa air DC celup. Yang mana pompa air ini berfungsi untuk menyerap dan mendorong air sekaligus dari bak penampungan air ke jalur pendingin pada panel surya.

#### L. Relay

Relay adalah saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (*Coil*) dan Mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). Relay menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.



Gambar 16. Relay

Pada tugas akhir ini, relay berperan sebagai saklar on/off otomatis yang bertugas mengendalikan operasi pompa air sebagai sistem pendingin pada panel surya. Saat suhu sistem mencapai ambang batas tertentu, sensor akan mengirimkan sinyal ke relay untuk menyalakan pompa. Dengan begitu, air mulai mengalir untuk membantu menurunkan suhu panel agar beroperasi secara optimal.

#### **M. Aki**

Aki adalah alat penyimpan energi yang diisi aliran DC dari sumber energi. Fungsi aki ini adalah mengubah energi dari reaksi kimia menjadi energi listrik yang dapat menghasilkan arus listrik (saat sirkuit tertutup) diantara dua kutub (terminal positif dan negatif) yang memiliki beda potensial. Dalam aki terdapat sel untuk menyimpan arus yang mengandung asam sulfat. Tiap sel berisikan pelat positif dan plat negatif. Pada plat positif mengandung mengandung oksid timah coklat ( $PbO_2$ ), sedangkan plat negatif mengandung timah ( $Pb$ ). Plat-plat di tempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau separator menjadi isolasi diantara plat itu dibuat agar baterai acid mudah beredar di sekeliling pelat (Setiono et al., 2015). Dalam aplikasi sistem tenaga surya, jenis aki yang umum digunakan adalah aki bebas perawatan berbasis timbal-asam (*maintenance-free lead-acid batteries*). Aki ini juga dikenal sebagai baterai rekombinan atau VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*), yang dilengkapi dengan katup pengatur untuk mengontrol tekanan internal dan mengurangi kebutuhan perawatan berkala. Dengan teknologi ini, aki VRLA lebih tahan



lama dan efisien dalam menyimpan serta menyalurkan energi listrik, sehingga menjadi pilihan yang andal untuk sistem energi terbarukan (Idris, 2020).



Gambar 17. Aki

Dengan demikian, pada tugas akhir ini energi atau daya yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan ke dalam aki jenis VRLA yang kemudian juga akan dijadikan sebagai cadangan ketersediaan energi yang akan dibutuhkan, salah satunya adalah untuk suplai daya ke perangkat atau sistem yang sudah di rancang.

#### N. *Solar Charge Controller (SCC)*

*Solar charge controller (SCC)* adalah komponen esensial dalam sistem panel surya yang berfungsi mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai dan beban sistem. Perangkat ini dirancang untuk mencegah pengisian baterai secara berlebihan dengan mengontrol arus masuk sesuai kapasitas baterai, sehingga menjaga keamanannya dan memperpanjang masa pakainya. Ketika baterai hampir penuh, SCC secara otomatis mengurangi arus pengisian untuk mempertahankan voltase yang stabil, menghindari risiko overcharging yang dapat merusak baterai. Selain itu,

SCC juga memiliki peran penting dalam mencegah arus balik dari baterai ke panel surya pada malam hari, sehingga energi yang tersimpan tidak terbuang (Jaenul et al., 2022).






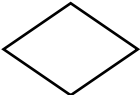



Gambar 18. *Solar Charge Controller (SCC)*

Selain itu, alat pengontrol ini juga berfungsi untuk mencegah arus dari aki mengalir kembali ke panel surya saat proses pengisian tidak berlangsung, seperti pada malam hari. Dengan demikian, energi yang telah tersimpan di dalam aki tetap terjaga dan tidak terbuang percuma, sehingga sistem dapat bekerja lebih efisien dan daya tahan aki lebih optimal (Sigalingging & Ananda, 2021).

#### ***O. Flowchart***

*Flowchart* adalah diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah atau urutan proses dalam suatu sistem menggunakan simbol-simbol standar. Diagram ini berfungsi untuk mendokumentasikan, merencanakan, dan menyederhanakan proses yang kompleks agar lebih mudah dipahami. Simbol-simbol flowchart dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

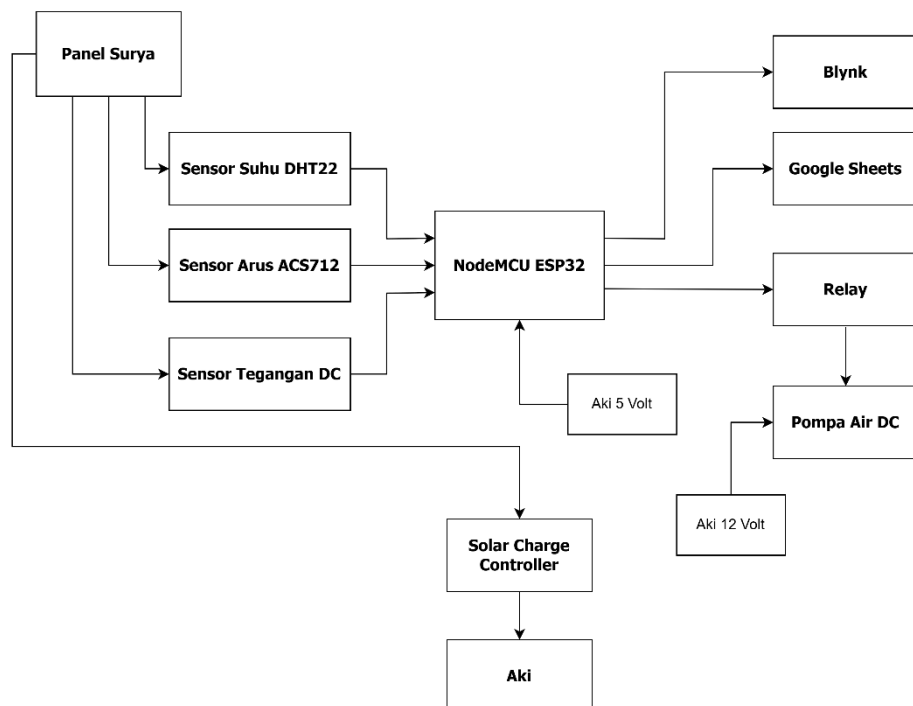
Tabel 5. Simbol dan Keterangan *Flowchart*

No	Simbol	Nama	Keterangan
1		Terminal	Awal atau akhir program
2		Proses	Menyatakan operasi, hasil operasi dapat merubah data atau informasi
3		Aliran	Arah aliran program
4		Logika/ keputusan	Menyatakan kondisi dengan dua kemungkinan, ya dan tidak.
5		Input atau Output	Menyatakan proses input dan output
6		Persiapan	Inisialisasi/pemberian nilai awal
7		Penghubung	Menghubungkan flowchart masih dihalaman yang sama.

### BAB III PERANCANGAN ALAT

#### A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem adalah representasi grafis yang memberikan gambaran menyeluruh tentang suatu sistem yang menunjukkan bagaimana berbagai komponen saling berinteraksi. Dalam tugas akhir diagram blok memiliki fungsi dalam perancangan dan dokumentasi proyek, seperti rancangan awal alat, visualisasi sistem, perancangan perangkat lunak, perancangan perangkat keras serta analisa ketergantungan dan rencana pengembangan.



Gambar 19. Blok Diagram Rancangan Sistem Keseluruhan

Berdasarkan blok diagram di atas, dapat diketahui perancangan sistem secara keseluruhan sebagai berikut:

1. Panel surya sebagai alat yang menerima dan mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik.
2. NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroller yang digunakan untuk memprogram dan mengolah data masukan sinyal input dari sensor dan memberikan sinyal output ke relay, serta mengirimkan monitoring dan perekaman data ke *platform* Blynk dan google sheets.
3. Blynk berfungsi sebagai *platform* IoT untuk monitoring daya yang meliputi data suhu, tegangan dan arus panel surya secara *real time*.
4. Google sheets sebagai aplikasi penyimpanan data suhu, arus, tegangan dan daya panel surya dari waktu ke waktu.
5. Sensor suhu DHT22 sebagai pembaca suhu pada panel surya.
6. Sensor arus ACS712 sebagai pembaca arus output dari panel surya.
7. Sensor tegangan DC sebagai pembaca tegangan output dari panel surya.
8. Relay berfungsi sebagai saklar on/off otomatis pada pompa air DC.
9. Pompa air DC digunakan sebagai output untuk mengalirkan air ke permukaan panel surya.
10. *Solar Charge Controller* (SCC) berfungsi sebagai pengatur aliran listrik dari panel surya ke aki agar tidak terjadi pengisian berlebih pada aki yang dapat menyebabkan kerusakan.
11. Aki berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya dan sebagai power supply penyalan pompa air DC.

## B. Prinsip Kerja Alat

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendingin otomatis pada panel surya yang dilengkapi dengan pemantauan daya secara real time melalui *platform* Blynk serta perekapan data logger secara berkala menggunakan Google Sheets. Sistem ini dirancang dengan menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai pengendali utama dan diprogram melalui *platform* Arduino IDE. Berikut adalah prinsip kerja dari alat yang dibuat:

### 1. Pengukuran Input

Tahap awal sistem melakukan pengukuran terhadap beberapa parameter yaitu suhu, arus dan tegangan keluaran panel surya. Pengukuran ini dilakukan oleh sensor DHT22 untuk suhu, sensor ACS712 untuk arus DC, serta sensor tegangan DC khusus untuk tegangan. Semua sensor terhubung ke NodeMCU ESP32 yang bertindak sebagai pusat pengumpulan data.

### 2. Pengolahan Data

Setelah data dari sensor diterima, NodeMCU ESP32 akan mengolah data tersebut dengan program yang telah dibuat menggunakan Arduino IDE. Pada tahap ini, sistem melakukan analisis terhadap nilai suhu yang didapatkan. Berdasarkan hasil pengolahan data, sistem akan menentukan apakah pompa perlu diaktifkan atau tidak sesuai dengan set point yang telah ditentukan, yaitu ON saat suhu  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  dan OFF saat suhu  $\leq 36^{\circ}\text{C}$ .

### 3. Pengiriman Data dan Monitoring

Selain mengolah data, sistem juga mengirimkan data hasil pengukuran secara *real time* ke *platform* Blynk untuk memudahkan pemantauan jarak jauh. Selain itu, data-data tersebut juga disimpan secara otomatis ke Google Sheets sebagai data logger yang berisi informasi waktu, suhu, arus, tegangan, daya, serta status sistem pendingin.

### 4. Pengendalian Output

Setelah data diolah dan keputusan kontrol diambil, NodeMCU ESP32 akan mengirimkan sinyal ke relay yang berfungsi sebagai saklar untuk mengendalikan pompa air DC. Pompa akan aktif saat suhu panel surya  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  untuk mendinginkan panel surya, dan akan mati secara otomatis saat suhu turun hingga  $\leq 36^{\circ}\text{C}$  atau di bawahnya.

### 5. Sumber Daya

Seluruh sistem membutuhkan sumber daya listrik yang berasal dari panel surya. Arus dan tegangan keluaran panel surya diatur terlebih dahulu oleh *Solar Charge Controller* (SCC) sebelum disimpan ke dalam aki. Energi yang tersimpan pada aki kemudian digunakan sebagai sumber daya untuk pompa air DC dan NodeMCU ESP32.

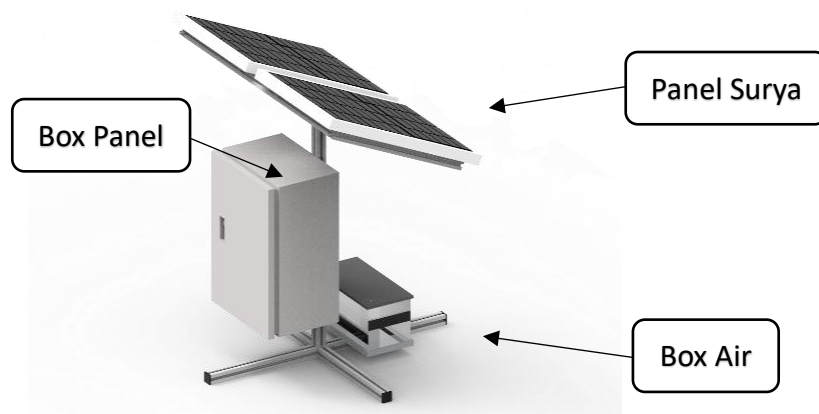
## C. Perancangan Hardware

### 1. Konstruksi Alat

Konstruksi alat merupakan bagian yang berfungsi sebagai dudukan panel surya dan pendinginnya agar alat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Konstruksi ini terdiri dari dua buah box yang di desain untuk menyimpan rangkaian dan bak air, dengan batang tiang penyangga terbuat dari alu frame box. Rancangan konstruksi penyangga panel dapat dilihat pada gambar 20, 21 dan 23 dibawah ini:

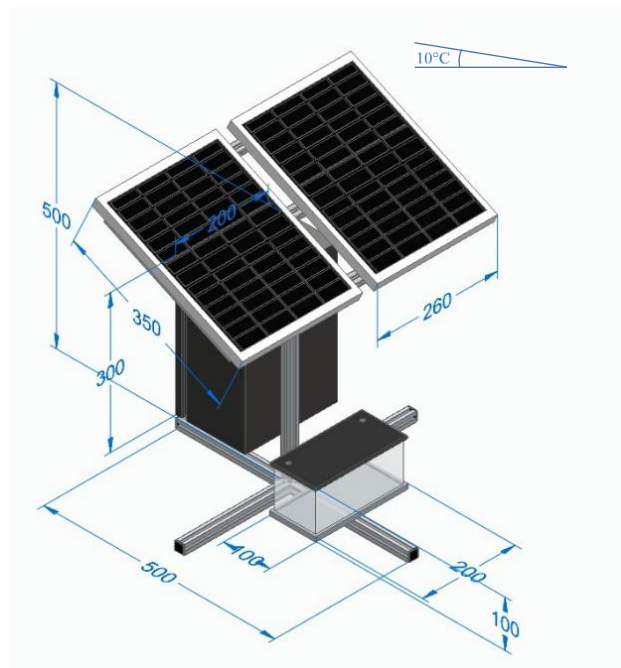


Gambar 20. Desain Konstruksi Alat Tampak Depan



Gambar 21. Desain Konstruksi Alat Tampak Belakang

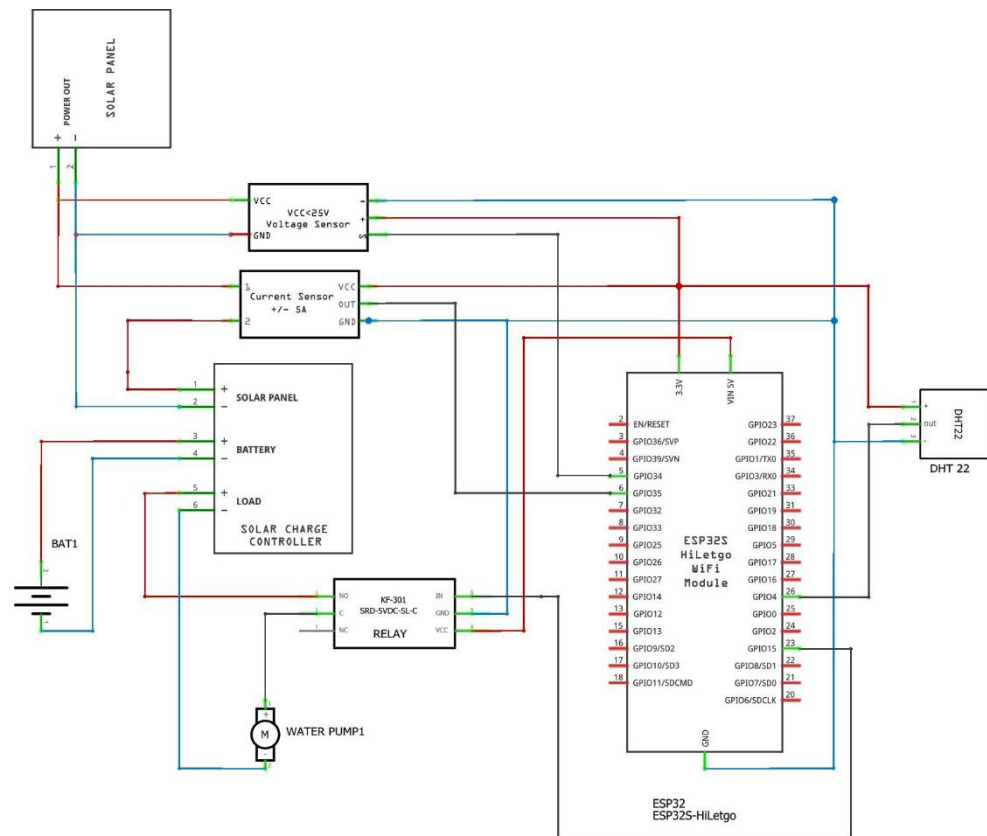




Gambar 22. Desain Ukuran Konstruksi Alat

## 2. Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol dalam sistem pendingin panel surya ini terdiri dari NodeMCU ESP32 sebagai kontrol pusat kendali yang terhubung ke berbagai komponen input dan output. Pada sisi input, rangkaian ini menerima data dari sensor DHT22 untuk pembacaan suhu, sensor ACS712 untuk pembacaan arus, dan sensor tegangan DC sebagai pembaca tegangan output panel surya. Pada sisi output terdapat relay sebagai saklar on/off otomatis untuk menghidupkan pompa air DC untuk mendinginkan panel surya. Gambar dari keseluruhan komponen yang telah dirangkai dapat dilihat pada gambar 23 berikut:



Gambar 23. Rangkaian Kontrol Alat

Tabel 6. Susunan Pin Rangkaian Kontrol

Nama Komponen	Pin Komponen	Pin NodeMCU ESP32
Sensor DHT22	VCC	3.3
	GND	GND
	Data	GPIO4
Sensor ACS712	VCC	3.3
	GND	GND
	A0	GPIO35
Sensor Tegangan DC	+	3.3
	-	GND
	S	GPIO34
Relay	VCC	VIN
	GND	GND
	IN1	GPIO15

## D. Perancangan *Software*

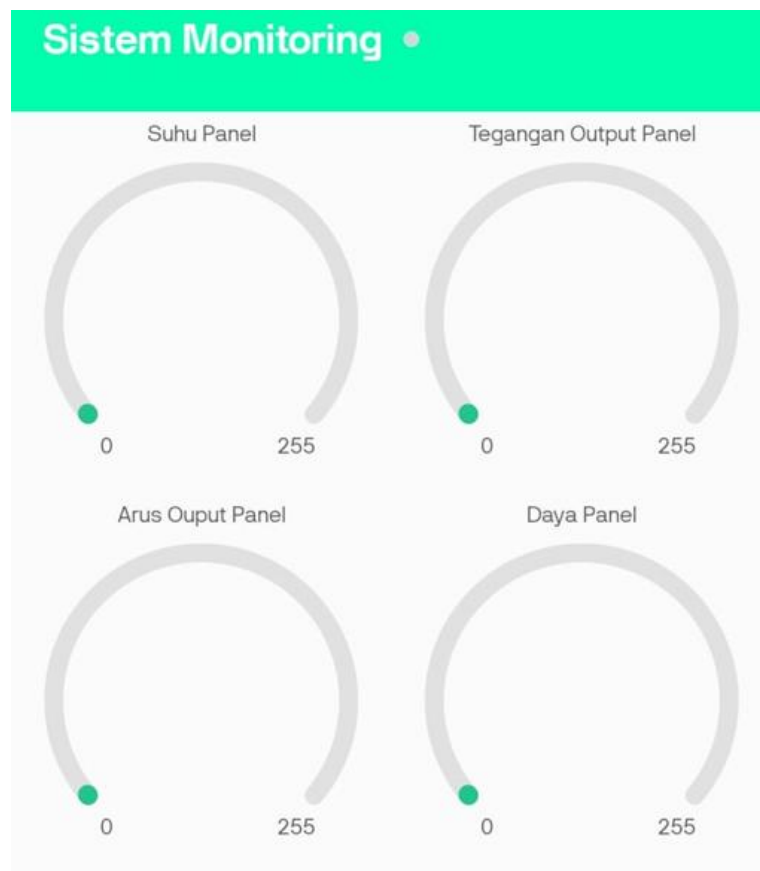
### 1. Perancangan Program

Pemograman kontrol dan monitoring dari sistem pendingin panel surya berbasis IoT ini menggunakan *software* Arduinio IDE. Sistem ini dirancang dan di kontrol untuk mengumpulkan data suhu menggunakan sensor DHT22, mengukur arus dengan sensor ACS712, memantau tegangan dengan sensor tegangan DC dari panel surya serta mengendalikan relay untuk sistem pendingin melalui *software* Arduino IDE yang nantinya akan di integrasikan ke NodeMCU ESP32. Semua komponen ini terhubung ke NodeMCU ESP32 yang mengirimkan data ke *platform* Blynk untuk visualiasi dan monitoring secara *real time*, serta menyimpan *data logger* ke Google Sheets untuk analisa lebih lanjut. Program di atas mencakup beberapa poin dalam perancangan sebagai berikut:

- a. Program sensor DHT22 untuk membaca suhu.
- b. Program sensor ACS712 untuk pembacaan arus.
- c. Program sensor tegangan DC untuk pembacaan tegangan.
- d. Program relay untuk penyalaan Pompa DC.
- e. Program penyimpanan data suhu, arus, tegangan dan daya.
- f. Konektivitas dengan *platform* Blynk untuk kontrol manual dan monitoring secara *real time*.
- g. Penyimpanan data ke Google Sheets untuk merekam *data logger*.

## 2. Perancangan Antarmuka Blynk

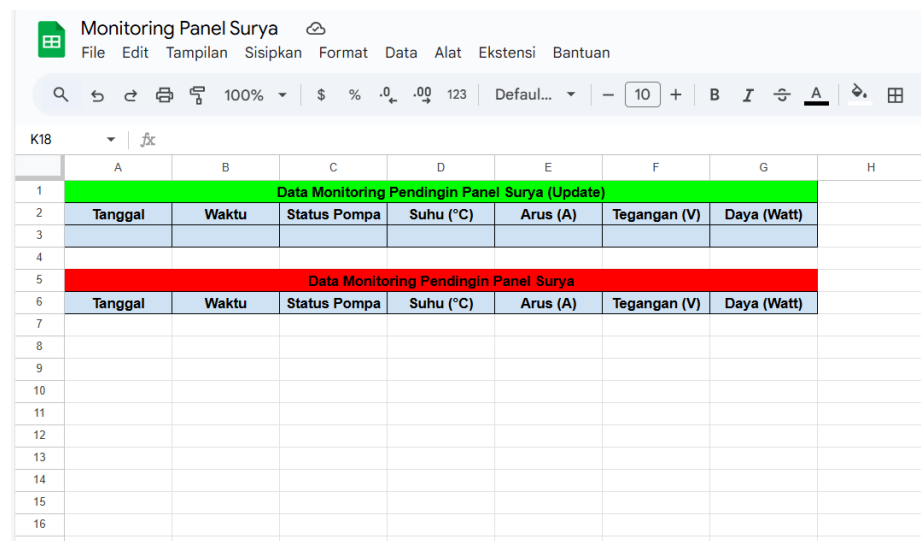
Blynk merupakan sebuah *platform* IoT (*Internet of Things*) yang dapat dengan mudah membuat antarmuka aplikasi mobile atau web untuk mengontrol dan memantau perangkat salah satunya berbasis ESP32. Pada tugas akhir ini, Blynk digunakan sebagai *platform* monitoring data *real time* dari data keluaran panel surya yang mencakup data suhu, arus, tegangan, dan daya. Berikut adalah gambar rancangan tampilan yang akan diimplementasikan pada *platform* Blynk:



Gambar 24. Tampilan Rancangan Monitoring Data Pada Blynk

### 3. Perancangan Tampilan Google Sheets

Google Sheets adalah layanan spreadsheet berbasis cloud dari google yang dapat menyimpan data secara *real time*. Pada tugas akhir ini, Google Sheets digunakan untuk merekap data dari waktu ke waktu dari sensor suhu, arus, tegangan dan status pompa (on/off) serta daya yang dihasilkan oleh panel surya. Berikut adalah gambar rancangan tampilan yang akan diimplementasikan pada Google Sheets:

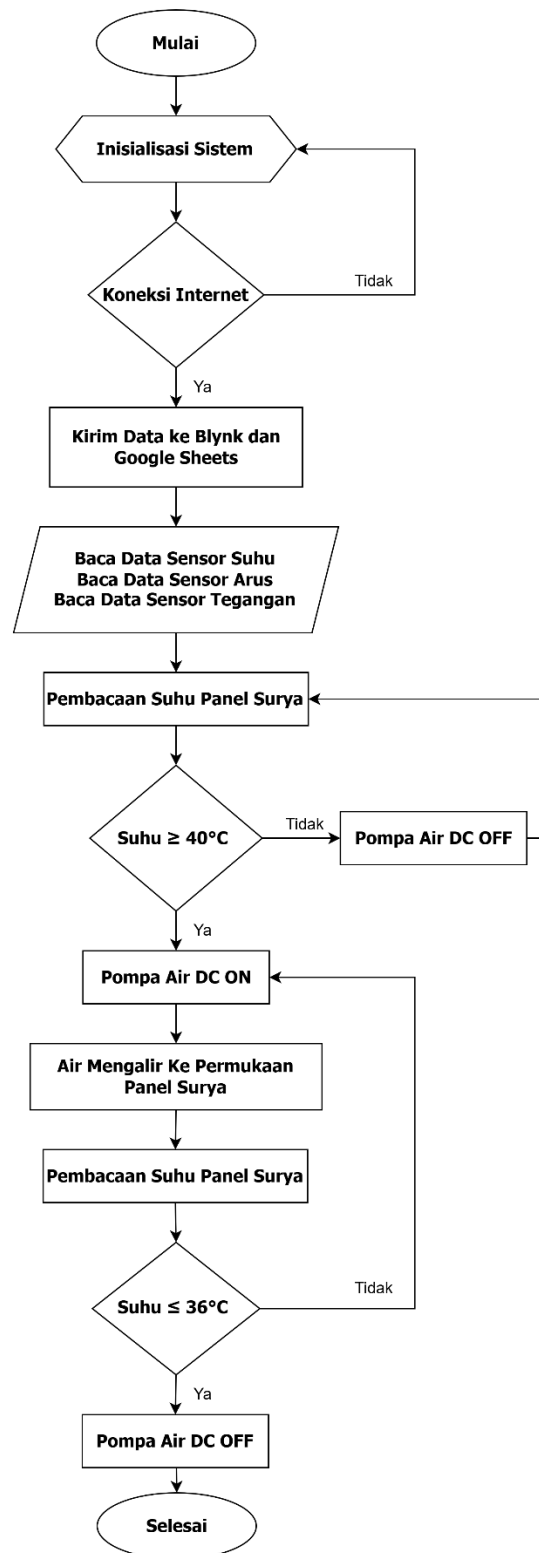


Data Monitoring Pendingin Panel Surya (Update)						
Tanggal	Waktu	Status Pompa	Suhu (°C)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)

Gambar 25. Tampilan Rancangan Data di Google Sheets

### 4. Diagram Alir (*Flowchart*)

*Flowchart* atau diagram alir adalah diagram yang menjelaskan alur kerja atau proses yang menunjukkan urutan langkah-langkah menggunakan simbol-simbol yang terhubung dengan panah pada sistem secara keseluruhan. Gambar *flowchart* dari sistem pendingin panel surya berbasis IoT ini dapat dilihat pada gambar dibawah:

Gambar 26. Diagram Alir (*Flowchart*)

## 5. Rencana Pengujian

Rencana pengujian merupakan tahapan dalam proses perancangan sistem yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan fungsinya. Dalam konteks tugas akhir ini, pengujian sistem mencakup beberapa hal, diantaranya:

### a. Pengujian Validasi Sensor Suhu DHT22

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran suhu dari sensor DHT22 dengan termometer sebagai alat pembanding untuk uji validasi.

### b. Pengujian Validasi Sensor Arus ACS712

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran arus dari sensor ACS712 dengan multimeter sebagai alat pembanding untuk uji validasi.

### c. Pengujian Validasi Sensor Tegangan

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan dari sensor tegangan dengan multimeter sebagai alat pembanding untuk uji validasi.

### d. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk memastikan sistem yang menyangkut seluruh komponen berfungsi dan terintegrasi sesuai dengan yang diharapkan.

e. Analisa Perbandingan Daya

Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan daya dua buah panel surya yang menggunakan sistem pendingin dengan yang tidak menggunakan sistem pendingin. Perbandingan data di analisa berdasarkan hubungan suhu dengan daya output pada panel surya, yang dihitung dengan persamaan 2 berikut:

$$P = P_{STC} \times (1 + \beta \times (T - T_{STC})) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

P	: Daya keluaran aktual pada suhu tertentu
P <sub>STC</sub>	: Daya keluaran pada kondisi standar (10 Wp)
$\beta$	: Koefisien suhu (-0,004)
T	: Suhu panel surya pada saat pengukuran
T <sub>STC</sub>	: Suhu pada kondisi standar (25°C)



## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, M. I., Syarif, A., Ashari, D., & Zuliadin, Z. (2023). Analisa pengaruh pendingin panel surya 50 WP terhadap daya yang dihasilkan. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 2(1), 8–16. <https://doi.org/10.54297/sjme.v2i1.356>
- Al-Masalha, I., Alsabagh, A. S., Badran, O., Alkawaldeh, N., Abu-Rahmeh, T. M., & Al Alawin, A. (2024). Improving photovoltaic module efficiency using water sprinklers, air fans, and combined cooling systems. *EPJ Photovoltaics*, 15. <https://doi.org/10.1051/epjpv/2024037>
- Ariksa, J., Forestico, A. S. S., Setiawan, Y., Saparin, & Wijianti, E. S. (2024). Pengaruh Pendinginan Panel Surya Terhadap Efisiensi Daya Keluaran. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 36–40.
- Arisandi, F. (2024). Rancang Bangun Sistem Pendingin Pada Photovoltaic Dengan Monitoring Berbasis IOT. *Jurnal Cendekia Ilmiah*, 3(6), 7942–7962.
- Atonergi. (2023). Apa saja kelebihan dan kekurangan energi matahari? Atonergi. <https://atonerigi.com/apa-saja-kelebihan-dan-kekurangan-energi-matahari/>
- Gunoto, P., Rahmadi, A., & Susanti, E. (2022). Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel Surya Berbasis Internet of Things. *Sigma Teknika*, 5(2), 285–294. <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v5i2.4555>
- Helmi, M. (2024). Perencanaan Pemasangan Plts Roof Top Sistem on-Grid Untuk Umkm Jasa Laundry. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 12(1), 55–62.
- Hidayat, T. N., & Sutrisno, S. (2021). Analisis Output Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Kapasitas 10Wp, 20Wp, Dan 30Wp. *Jurnal Crankshaft*, 4(2), 9–18. <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v4i2.6013>
- Idris, M. (2020). Rancang Panel Surya Untuk Instalasi Penerangan Rumah Sederhana Daya 900 Watt. *Jurnal Elektronika Listrik Dan Teknologi Informasi Terapan*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.37338/e.v1i1.94>
- Jaenul, A., Manfaluthy, M., Pramodja, Y., & Anjara, F. (2022). Pembuatan Sumber Listrik Cadangan Menggunakan Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Beban Lampu dan Peralatan Listrik. *Formosa Journal of Science and Technology*, 1(3), 143–156. <https://doi.org/10.55927/fjst.v1i3.838>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2023). Miliki potensi EBT 3.686 GW, Sekjen Rida: Modal utama jalankan transisi energi Indonesia. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/miliki->

potensi-cbt-3686-gw-sekjen-rida-modal-utama-jalankan-transisi-energi-indonesia

- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.23956>
- LAKSANA, E. P., SANJAYA, O., SUJONO, S., BROTO, S., & 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*, 10(3), 652. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i3.652>
- Mubarak 'aafi, A., Jamaaluddin, J., & Anshory, I. (2022). Implementasi Sensor Pzem-017 Untuk Monitoring Arus, Tegangan dan Daya Pada Instalasi Panel Surya dengan Sistem Data Logger Menggunakan Google Spreadsheet dan Smartphone. *SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika*, 191. <https://ejurnal.itats.ac.id/snestikdanhttps://snestik.itats.ac.id>
- Nizamov, O. K. (2024). *Prospects of Using Floating Solar Photovoltaic Power Stations in Hydro Accumulative Electric Stations*. 3(12), 361–365.
- Nizar Maulidin, M., Hariyadi, S., & Wayan Yudi Martha Wiguna, I. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya Menggunakan Kendali Air Otomatis Untuk Menurunkan Rugi Rugi Daya Berbasis Arduino Via Android. *Prosidingseminar Nasionalinovasi Teknologi Penerbangan (Snitp)*, 5(1). <https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/SNITP/article/view/879>
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10–14. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>
- Setiawan, A. H., Suyanto, & Wahyuono, R. A. (2023). Analisis Kinerja Pendinginan Pasif Pada Panel Surya Menggunakan Phase Chage Material Parafin Pada Back Sheet Alumunium. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 4, 866–876.
- Setiono, I., Sudarto, J. P., & Semarang, T. (2015). Akumulator, Pemakaian Dan Perawatannya. *Metana*, 11(01), 31–36.
- Sigalingging, T. M., & Ananda, Y. (2021). Rancang Bangun Alat Suplai Energi Ruangan Sterilisasi Menggunakan Sistem Tenaga Surya. *Jurnal Simetri Rekayasa*, 5035, 178–186. <https://jurnal.harapan.ac.id/index.php/JSR/article/view/506%0Ahttps://jurnal.harapan.ac.id/index.php/JSR/article/download/506/355>

- Sugiono, F. A. F., Larasati, P. D., & Karuniawan, E. A. (2022). Pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap potensi pemanfaatan PLTS rooftop di bengkel teknik mesin, Politeknik Negeri Semarang [The Effect of Solar Panel Tilt Angle on the Potential Utilization of Rooftop Solar Power Plants (PLTS) at the Mechanical E. *Rekayasa Energi*, 01(01), 1–8. <https://www.helioscope.com/>
- Suwarti, Wahyono, & Prasetyo, B. (2019). Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *Eksergi*, 14(3), 78. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v14i3.1373>
- Suyanto, M., Pambudi, P. E., & Firman, B. (2024). Sistem pembangkitan listrik tenaga surya 400 watt sebagai catu daya peralatan informasi. *Jnanaloka*, 31–41. <https://doi.org/10.36802/jnanaloka.2024.v5-no01-31-41>
- Wulandari, D., & Ardiyanto. (2018). *Rancang Bangun Pendingin Solar Cell Menggunakan Media Air*. 234. <http://repository.polman-babel.ac.id/id/eprint/9>