

**Penerapan Sistem Pendinginan Berbasis Air untuk Meningkatkan
Kinerja Panel Surya Monokristalin 100 Wp**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Rais Mubarak

221441024



**TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Penerapan Sistem Pendinginan Berbasis Air untuk Meningkatkan
Kinerja Panel Surya Monokristalin 100 Wp**

Oleh:

Rais Mubarak

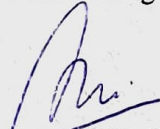
221441024

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 05 Agustus 2025

Disetujui,

Pembimbing I,



Nuryanti S.T., M.Sc.
NIP. 197604262009122002

Pembimbing II,



Ismail Rokhim S.T., M.T
NIP. 197002161993031001

Disahkan,

Penguji I,



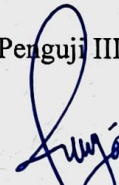
Ridwan, S.ST., M.Eng.
197806122001121002

Penguji II,



**Fitria Suryatini, S.Pd.,
M.T.**
198804242018032001

Penguji III,



**Rizqi Aji Pratama,
M.Pd.**
199110272022031005

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rais Mubarak
NIM : 221441024
Jurusan : Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur Dan
Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Penerapan Sistem Pendinginan Berbasis Air
untuk Meningkatkan Kinerja Panel Surya
Monokristalin 100 Wp

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 05 Agustus 2025
Yang Menyatakan,

(Rais Mubarak)
221441024

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rais Mubarak
NIM : 221441024
Jurusan : Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur Dan
Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Penerapan Sistem Pendinginan Berbasis Air
untuk Meningkatkan Kinerja Panel Surya
Monokristalin 100 Wp

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 05 Agustus 2025
Yang Menyatakan,

(Rais Mubarak)
221441024

MOTO PRIBADI

"Ilmu tanpa amal bagaikan pohon tanpa buah."

– (Ali bin Abi Thalib)

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Penerapan Sistem Pendinginan Berbasis Air untuk Meningkatkan Kinerja Panel Surya Monokristalin 100 Wp”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah U., S.ST.,MT.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ridwan, S.ST., M.Eng.
3. Ketua Program Studi Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekaligus Pembimbing Tugas Akhir, Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc.
4. Pembimbing 2 Dalam Tugas Akhir Ini yaitu Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Ridwan, S.ST., M.Eng., Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T., dan Bapak Rizqi Aji Pratama, M.Pd.

6. Panitia tugas akhir Bapak Rizqi Aji Pratama, M.Pd., Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T., Bapak Sarosa Castrena Abadi, S.Pd., M.T., Ibu Hilda Khoirunnisa, S.Tr.T., M.Sc.Eng., Bapak Mohammad Harry Khomas Saputra, S.T., M.TI, Bapak M. Nursyam Rizal, S.Tr.T., M.Sc., dan Ibu Anggraeni Mulyadewi, S.Si., M.T.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Bapak Amir Hasan dan Ibu Uswah yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk kakak dan adik saya yang telah memberikan dukungan secara moril, yang selalu memberikan dorongan semangat bahwa saya mampu untuk menyelesaikan kuliah dan dukungan material.
9. Kepada sahabat-sahabat saya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan dorongan semangat dan memberikan solusi setiap permasalahan yang ada di kuliah.
10. Buat rekan-rekan saya Kelas 4AEB-1 dan Angkatan 21

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 05 Agustus 2025

Rais Mubarak

ABSTRAK

Temperatur mempunyai peranan yang sangat penting dalam performa panel surya baik dalam susunan seri maupun paralel. Panel surya yang terpapar sinar matahari secara terus-menerus akan mengalami peningkatan temperatur pada permukaannya. Peningkatan temperatur yang berlebihan akan menurunkan proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pendingin yang dapat menjaga temperatur panel surya. sistem pendinginan yang dikembangkan pada tugas akhir ini adalah sistem pendinginan berbasis air dengan siklus tertutup yakni air yang telah mendinginkan panel surya monokristalin 100 Wp akan kembali ditampung dan didinginkan dengan menggunakan modul peltier. Dengan demikian air yang digunakan lebih hemat. Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk memantau suhu permukaan panel surya dan suhu air, serta untuk mengontrol pompa dan peltier. Hasil pengujian sistem pendinginan berbasis air berhasil menjaga suhu permukaan panel surya berada pada suhu 30,18°C, sedangkan tanpa pendingin berada di 40,96°C, meningkatkan tegangan dari 22,49V menjadi 23,85V, meningkatkan arus dari 4,22A menjadi 4,33A, meningkatkan tegangan dari 94,97W menjadi 103,01W, dan meningkatkan efisiensi sebesar 1,75%, dari 10,04% menjadi 11,79%. Dengan demikian, sistem pendinginan berbasis air terbukti efektif dalam menjaga suhu operasional panel surya.

Kata kunci: Pendinginan panel surya, efisiensi panel surya, suhu, tegangan, arus

ABSTRACT

Temperature plays a crucial role in the performance of solar panels, whether connected in series or parallel. Solar panels exposed to continuous sunlight will experience an increase in surface temperature. Excessive temperature rise can reduce the conversion process of solar energy into electrical energy. Therefore, a cooling system is required to maintain the temperature of the solar panel. The cooling system developed in this final project is a water-based cooling system with a closed-loop cycle, in which the water that has cooled the 100 Wp monocrystalline solar panel is collected and cooled again using a Peltier module. This makes the water usage more efficient. An ESP32 microcontroller is used to monitor the surface temperature of the solar panel and the water temperature, as well as to control the pump and Peltier module. The test results show that the water-based cooling system successfully maintained the panel surface temperature at 30.18°C, compared to 40.96°C without cooling, increased the voltage from 22.49V to 23.85V, the current from 4.22A to 4.33A, the power from 94.97W to 103.01W, and the efficiency by 1.75%, from 10.04% to 11.79%. Therefore, the water-based cooling system is proven effective in maintaining the solar panel's operational temperature.

Keyword: *Solar panel cooling, solar panel efficiency, temperature, voltage, current.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-3
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-3
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Sistem Pendinginan Air Menggunakan Peltier	II-1
II.1.2 <i>Internet of Things (IoT)</i>	II-2
II.1.3 Panel Surya	II-2
II.1.4 MQTT	II-3

II.1.5	Karakteristik Panel Surya.....	II-4
II.1.6	Efisiensi Panel Surya	II-5
II.2	Tinjauan Alat.....	II-6
II.2.1	Panel Surya	II-6
II.2.2	Mikrokontroler	II-8
II.2.3	Sensor Suhu	II-9
II.2.4	Sensor Arus dan Tegangan	II-10
II.2.5	Sensor Intensitas Cahaya	II-11
II.2.6	Sakelar Elektronik.....	II-12
II.2.7	Aktuator Motor DC.....	II-13
II.2.8	Termoelektrik.....	II-14
II.2.9	Platform Antarmuka.....	II-15
II.2.10	Wadah Alat Pendingin (<i>Styrofoam</i>)	II-17
II.2.11	Penghubung Jaringan	II-17
II.2.12	<i>Solar Charge Controller</i> (SCC).....	II-17
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-18
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH		III-23
III.1	Metodologi Tugas Akhir.....	III-23
III.2	Gambaran Umum Sistem.....	III-24
III.3	Rancangan Sistem Pendinginan Air	III-26
III.3.1	Rancangan Mekanik Sistem Pendinginan Air.....	III-27
III.3.2	Rancangan Informatik Sistem Pendinginan Air.....	III-29
III.4	Rancangan Sistem Pendinginan Panel Surya	III-29
III.4.1	Rancangan Mekanik Sistem Pendinginan Panel Surya.....	III-30
III.4.2	Rancangan Elektrikal Sistem Pendinginan Panel Surya	III-32
III.4.3	Rancangan Informatik Sistem Pendinginan Panel Surya.....	III-34

III.5	Rancangan Sistem <i>Monitoring</i>	III-36
III.5.1	Rancangan Informatik Sistem <i>Monitoring</i>	III-37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
IV.1	Pengujian dan Kalibrasi Sensor	IV-1
IV.1.1	Pengujian dan Kalibrasi Sensor Suhu Air Pada Wadah (DS18B20) IV-1	
IV.1.2	Pengujian dan Kalibrasi Sensor Suhu Permukaan Panel Surya (DS18B20)	IV-3
IV.1.3	Pengujian dan Kalibrasi Sensor Tegangan (INA219)	IV-5
IV.1.4	Pengujian dan Kalibrasi Sensor Arus (INA219)	IV-8
IV.2	Hasil Perancangan <i>Monitoring</i>	IV-10
IV.3	Hasil Perancangan Sistem Pendinginan Air	IV-12
IV.3.1	Hasil Perancangan Mekanik Wadah Air	IV-12
IV.3.2	Hasil Sistem Pendinginan Air	IV-13
IV.4	Hasil Perancangan Sistem Pendinginan Panel Surya Siklus Tertutup IV-13	
IV.4.1	Hasil Perancangan Mekanik Pendinginan Panel Surya.....	IV-13
IV.4.2	Hasil Perancangan Elektrik Pendinginan Panel Surya.....	IV-15
IV.5	Pengujian Karakteristik Panel Surya Monokristalin.....	IV-15
IV.5.1	Kondisi Intensitas Cahaya (<i>lux</i>) Berbeda dengan Temperatur Tetap IV-15	
IV.5.2	Kondisi Intensitas Cahaya (<i>lux</i>) Tetap dengan Temperatur Berbeda IV-18	
IV.5.3	Kondisi Intensitas Cahaya (<i>lux</i>) Tetap dengan Temperatur Tetap IV-20	
IV.6	Pengujian Kinerja Panel Surya Dengan dan Tanpa Pendingin.....	IV-21
IV.6.1	Panel Surya Tanpa Pendingin	IV-22

IV.6.2	Panel Surya dengan Pendingin.....	IV-24
IV.6.3	Perbandingan Hasil Kinerja Panel Surya	IV-27
BAB V	PENUTUP.....	IV-32
V.1	Kesimpulan.....	IV-32
V.2	Saran.....	IV-32
DAFTAR PUSTAKA.....		xix
LAMPIRAN.....		xxiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Sistem Pendinginan Mnegunakan Peltier[15]	II-1
Gambar II.2 <i>Internet of Things</i> [17].....	II-2
Gambar II.3 Panel Surya <i>Polycrystalline</i> [2].....	II-3
Gambar II.4 MQTT (<i>Message Queue Telemetry Transport</i>).....	II-4
Gambar II.5 Kurva Karakteristik I-V Panel Surya [24].....	II-5
Gambar II.6 Panel Surya Monokristalin [21].....	II-7
Gambar II.7 Panel Surya Polokristal [21].....	II-7
Gambar II.8 Panel Surya <i>Thin Film</i> [21]	II-8
Gambar II.9 Arduino Mega 2560 [27]	II-8
Gambar II.10 ESP32 [29].....	II-9
Gambar II.11 DS18B20 [31].....	II-9
Gambar II.12 <i>Thermocouple Type-K</i> [27].....	II-10
Gambar II.13 INA219 [34]	II-11
Gambar II.14 Konfigurasi Pin INA219 [33].....	II-11
Gambar II.15 INA226[35]	II-11
Gambar II.16 BH1750	II-12
Gambar II.17 TSL2561	II-12
Gambar II.18 Modul Relay [38]	II-13
Gambar II.19 Pompa Air DC [7]	II-14
Gambar II.20 Sistem Peltier [42]	II-15
Gambar II.21 Node-Red [45]	II-16
Gambar II.22 <i>Styrofoam</i>	II-17
Gambar II.23 <i>Router TL-WR840N</i>	II-17
Gambar II.24 Solar Charge Controller[49]	II-18
Gambar III.1 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir\	III-23
Gambar III.2 Gambaran Umum Sistem	III-25
Gambar III.3 <i>Use case</i> diagram sistem pendinginan air	III-27
Gambar III.4 Tampak depan wadah pendingin aktif	III-28
Gambar III.5 Tampak belakang wadah pendingin aktif	III-28
Gambar III.6 Rancangan Informatik Sistem Pendinginan Air.....	III-29

Gambar III.7 <i>Use Case</i> diagram sistem pendinginan panel surya	III-30
Gambar III.8 Tampak Belakang Mekanik Panel Surya	III-31
Gambar III.9 Tambahan katup satu arah dan letak sensor suhu panel surya ...	III-31
Gambar III.10 Layout Komponen Sistem Pendinginan Panel Surya	III-32
Gambar III.11 Layout <i>Panel Box</i>	III-33
Gambar III.12 Skematik Rancangan Elektrikal Pendinginan Panel Surya	III-33
Gambar III.13 Pengukuran tegangan dan arus panel surya	III-34
Gambar III.14 Rancangan Informatik Sistem Pendinginan Panel Surya	III-35
Gambar III.15 Blok Diagram Sistem Pendinginan Panel Surya	III-36
Gambar III.16 <i>Use Case</i> diagram sistem <i>monitoring</i>	III-36
Gambar III.17 Rancangan Sistem <i>Monitoring</i>	III-37
Gambar III.18 Topologi Jaringan Sistem <i>Monitoring</i>	III-38
Gambar IV.1 Grafik Regresi Linear Pembacaan Sensor Suhu Air	IV-2
Gambar IV.2 Grafik Regresi Linear Pembacaan Sensor Suhu Panel Surya	IV-4
Gambar IV.3 Grafik Regresi Linear Pembacaan Sensor Tegangan Panel Surya	IV-7
Gambar IV.4 Grafik Regresi Linear Pembacaan Sensor Arus Panel Surya	IV-9
Gambar IV.5 Pengiriman data melalui MQTT untuk pembacaan sensor menuju node-red	IV-10
Gambar IV.6 Pengiriman data melalui MQTT untuk kontrol manual motor ..	IV-11
Gambar IV.7 Tampilan <i>Dashboard Monitoring</i>	IV-11
Gambar IV.8 Tampilan <i>Dashboard</i> kontrol manual	IV-11
Gambar IV.9 Bagian dalam dan tampak luar wadah	IV-12
Gambar IV.10 Grafik Pendinginan Suhu Air	IV-13
Gambar IV.11 Tampak depan dan Tampak kanan	IV-14
Gambar IV.12 Tampak belakang dan Tampak kiri	IV-14
Gambar IV.13 <i>Panel box</i> penerima dan pengirim	IV-15
Gambar IV.14 Grafik pengaruh <i>lux</i> terhadap tegangan	IV-16
Gambar IV.15 Grafik pengaruh <i>lux</i> terhadap Arus	IV-16
Gambar IV.16 Grafik pengaruh <i>lux</i> terhadap daya	IV-17
Gambar IV.17 Grafik pengaruh suhu terhadap tegangan	IV-18
Gambar IV.18 Grafik pengaruh suhu terhadap arus	IV-19

Gambar IV.19 Grafik pengaruh suhu terhadap daya	IV-19
Gambar IV.20 Grafik pengaruh temperatur tetap terhadap tegangan	IV-20
Gambar IV.21 Grafik pengaruh temperatur tetap terhadap arus.....	IV-21
Gambar IV.22 Grafik pengaruh temperatur tetap terhadap daya.....	IV-21
Gambar IV.23 Grafik Hasil tegangan (V) panel surya tanpa pendingin.....	IV-22
Gambar IV.24 Grafik Hasil Arus (A) panel surya tanpa pendingin	IV-23
Gambar IV.25 Grafik Daya saat pengujian panel surya tanpa pendingin.....	IV-23
Gambar IV.26 Grafik Suhu saat pengujian panel surya tanpa pendingin	IV-23
Gambar IV.27 <i>Dashboard Monitoring</i> Panel surya tanpa pendingin	IV-24
Gambar IV.28 Grafik Suhu (°C) panel surya dengan pendingin	IV-25
Gambar IV.29 Tegangan (V) panel surya dengan pendingin	IV-25
Gambar IV.30 Grafik Arus (A) panel surya dengan pendingin.....	IV-26
Gambar IV.31 Grafik Daya (W) panel surya dengan pendingin	IV-26
Gambar IV.32 <i>Dashboard Monitoring</i> Panel Surya Dengan Pendingin	IV-27
Gambar IV.33 Grafik Suhu (°C) Perbandingan Hasil Pengujian.....	IV-28
Gambar IV.34 Grafik Tegangan (V) Perbandingan Hasil Pengujian	IV-28
Gambar IV.35 Grafik Arus (A) Perbandingan Hasil Pengujian	IV-29
Gambar IV.36 Grafik Daya (W) Perbandingan Hasil Pengujian.....	IV-29

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Penelitian Terdahulu	II-18
Tabel IV-1 Pembacaan Sensor Suhu Air Sebelum Kalibrasi.....	IV-1
Tabel IV-2 Pembacaan Sensor Suhu Air Setelah kalibrasi.....	IV-3
Tabel IV-3 Pembacaan Sensor Suhu Panel Surya Sebelum kalibrasi.....	IV-4
Tabel IV-4 Pembacaan Sensor Suhu Panel Surya Setelah kalibrasi	IV-5
Tabel IV-5 Pembacaan Sensor Tegangan Hasil Panel Surya Sebelum kalibrasi. IV-5	
Tabel IV-6 Pembacaan Sensor Tegangan Hasil Panel Surya Setelah kalibrasi. IV-7	
Tabel IV-7 Pembacaan Sensor Arus Hasil Panel Surya Sebelum kalibrasi.....	IV-8
Tabel IV-8 Pembacaan Sensor Arus Hasil Panel Surya Setelah kalibrasi	IV-9
Tabel IV-9 Hasil pengujian kondisi 1	IV-15
Tabel IV-10 Hasil pengujian kondisi 2	IV-18
Tabel IV-11 Hasil pengujian kondisi 3	IV-20
Tabel IV-12 Hasil pengujian tanpa pendingin	IV-24
Tabel IV-13 Hasil pengujian dengan pendingin	IV-26
Tabel IV-14 Spesifikasi Panel Surya Monokristalin 100 Wp.....	IV-27
Tabel IV-15 Hasil Pengujian Panel Surya pada Dua Kondisi	IV-29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengukuran tegangan, arus, dan intensitas cahaya

Lampiran 2 Perakitan kerangka

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

W_p = *Watt Peak*

DC = *Direct Current*

A = *Ampere*

V = *Voltage*

°C = *Celcius*

P = *Power*

PV = *Photovoltaic*

V_{oC} = *Open Circuit Voltage*

PSU = *Power Supply Unit*

η = *Efisiensi*

FF = *Faktor Pengisi*

I_{sc} = *Short Circuit Current*

IoT = *Internet of Things*

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sumber energi utama yang banyak dimanfaatkan adalah energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batu bara. Penggunaan energi fosil terus meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk. Tanpa adanya inisiatif untuk mengembangkan sumber energi alternatif, ketergantungan yang terus-menerus terhadap energi fosil akan menyebabkan cadangannya semakin menurun dan berpotensi habis, karena proses regenerasi energi fosil membutuhkan waktu geologis yang sangat panjang. Dikarenakan faktor tersebut, manusia membutuhkan sumber energi terbarukan yang mampu menggantikan peran energi fosil sebagai sumber energi[1]. Tiap tahun terjadi pertambahan jumlah penduduk serta aktivitas ekonomi dan industri meningkat seiring jalannya waktu, sehingga kebutuhan energi listrik meningkat pesat[2].

Energi Surya mengubah energi cahaya menjadi sumber energi listrik yang tidak mencemari lingkungan[3]. Panel surya mengeluarkan daya maksimal pada tingkat efisiensi yang tinggi[4]. Namun Jika efisiensi pada panel surya turun, daya output yang dihasilkan panel surya turut akan menurun[5]. Beberapa hal yang menyebabkan penurunan efisiensi panel surya antara lain karena radiasi tidak terkonversi dengan maksimal, terjadinya peningkatan temperatur yang sangat drastis, sistem pendinginan yang menggunakan alat pendingin dengan temperatur yang berbeda jauh dengan alat yang didinginkan[6],[5],[7],[8].

Penurunan efisiensi panel surya akibat temperatur tinggi disebabkan oleh beberapa hal, antara lain mengurangi *bandgap* energi matahari material semikonduktor, penurunan *bandgap* mengakibatkan tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage, Voc*) menurun, meskipun arus meningkat, daya yang dihasilkan oleh panel surya menurun, penurunan tegangan lebih mendominasi dibandingkan dengan

peningkatan arus, selanjutnya temperatur tinggi juga akan meningkatkan energi kinetik elektron dalam material semikonduktor[9],[10].

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, untuk menjaga efisiensi panel surya adalah melakukan pendinginan panel surya dengan menggunakan pendingin aktif atau pendingin pasif. Tujuan melakukan sistem pendinginan adalah untuk menjaga suhu temperatur panel surya pada suhu optimalnya yaitu antara 25°C - 45°C[3],[4],[11]. Pada penelitian lain, terdapat sistem pendinginan panel surya yang dilengkapi dengan siklus terbuka[7],[12]. Mekanisme siklus terbuka ini adalah dengan membuang air yang telah terpakai pada sistem pendinginan panel surya. Sedangkan pada tugas akhir kali ini, dikembangkan sistem pendinginan panel surya siklus tertutup[13]. Di mana air yang telah digunakan untuk mendinginkan panel dialirkan kembali menuju wadah. Air yang menyerap panas akan didinginkan dengan menggunakan modul peltier. Perbedaan suhu antara alat pendingin dengan suhu pada panel surya umumnya di kisaran 20°C - 35°C. Hal tersebut dikarenakan, jika terdapat perbedaan yang sangat signifikan dari suhu air dengan suhu panel surya, maka hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan termal pada beberapa material panel surya[14]. Untuk melakukan *monitoring* proses pendinginan maupun daya yang dihasilkan maka sistem telah dilengkapi dengan perangkat IoT.

Berbagai penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi panel surya melalui penerapan sistem pendingin. Sistem pendinginan aktif maupun pasif telah diuji dalam berbagai studi untuk menjaga suhu panel surya tetap berada pada rentang optimal, yaitu 25°C hingga 45°C. Pada penelitian sebelumnya, pendekatan sistem pendinginan dengan siklus terbuka telah dikembangkan, di mana air pendingin dibuang setelah pemakaian. Namun, pendekatan ini memiliki kelemahan dalam efisiensi penggunaan air. Seiring berkembangnya teknologi dan kesadaran akan efisiensi energi, pendekatan terbaru mulai mengarah pada sistem pendinginan siklus tertutup, di mana air yang telah digunakan akan dialirkan kembali ke dalam wadah untuk digunakan ulang. Inovasi ini semakin ditingkatkan dengan pemanfaatan modul peltier sebagai alat pendingin, serta penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan suhu dan daya

panel secara real-time. Perpaduan sistem pendinginan tertutup, teknologi peltier, dan IoT menjadikan sistem ini lebih efisien, ramah lingkungan, serta adaptif terhadap kebutuhan energi berkelanjutan.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tugas akhir ini, terdapat beberapa rumusan masalah yang diangkat, diantaranya :

1. Bagaimana karakter daya yang dihasilkan oleh panel surya monokristalin berdasarkan temperatur yang berbeda?
2. Bagaimana pengaruh sistem pendinginan berbasis air peningkatan efisiensi panel surya monokristalin 100 Wp?
3. Seberapa besar peningkatan efisiensi panel surya monokristalin 100 Wp saat menggunakan sistem pendinginan berbasis air dibandingkan tanpa pendingin?

I.3 Batasan Masalah

Tugas akhir ini memfokuskan untuk pengembangan sistem pendinginan panel surya, maka ada terdapat batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Pendinginan yang digunakan adalah sistem aktif berbasis air biasa tanpa tambahan senyawa kimia dengan siklus tertutup, dibantu pendingin *thermoelectric* (peltier).
2. Fokus pengujian adalah pengaruh penurunan suhu panel terhadap peningkatan daya dan efisiensi, bukan pada optimasi sistem penyimpanan energi.
3. Pengujian hanya dilakukan pada panel surya jenis monokristalin berkapasitas 100 Wp.
4. *Monitoring* dan kontrol dilakukan secara otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT).
5. Variabel intensitas cahaya (*lux*) dalam pengujian dijaga relatif tetap, sehingga variabel utama yang diamati adalah perubahan suhu panel.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penerapan sistem pendinginan pada sistem pendinginan pada Tugas Akhir ini antara lain :

1. Merancang dan membuat sistem pendinginan berbasis air siklus tertutup untuk meningkatkan efisiensi panel surya.
2. Membuat sistem *monitoring* pada sistem pendinginan dan kinerja panel surya.
3. Meningkatkan *Fill Factor* (FF) dengan sistem pendinginan berbasis air.

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini antara lain :

1. Mengetahui besar daya dan tegangan yang dihasilkan panel surya.
2. Memastikan panel surya bekerja pada tingkat efisiensi yang lebih tinggi.
3. Menghindari kerusakan termal pada beberapa material panel surya.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi pemaparan hasil pengujian yang dilakukan pada beberapa domain dan sistem, dengan memperhatikan tuntutan yang harus dicapai.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian lebih lanjut.