

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UNTUK KOMPONEN
ELEKTRIK PADA KAPAL TANPA AWAK MENGGUNAKAN PELTIER
DENGAN METODE LOGIKA *FUZZY***

(Skripsi)

Oleh

Jentrio Tamba Halomoan Purba

NPM.2115031077



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UNTUK KOMPONEN ELEKTRIK PADA KAPAL TANPA AWAK MENGGUNAKAN PELTIER DENGAN METODE LOGIKA *FUZZY*

Oleh

JENTRIO TAMBA HALOMOAN PURBA

Kapal tanpa awak memiliki keterbatasan dalam pengendalian suhu dan kelembaban pada komponen elektrik, yang dapat menimbulkan kerusakan serta menurunkan keandalan sistem. Penelitian ini merancang dan membangun sistem pendingin terintegrasi berbasis modul Peltier TEC12706 yang dikendalikan mikrokontroler ESP32 menggunakan metode Logika *Fuzzy* Sugeno. Sistem dirancang untuk mengatur pendinginan secara adaptif berdasarkan data sensor suhu dan kelembaban DHT22. Mekanisme kendali dilakukan melalui *Pulse Width Modulation* (PWM) 8 bit pada frekuensi 5 KHz untuk mengatur tegangan peltier serta pengendalian kipas dan pompa melalui *relay*. Integrasi *Internet of Things* (IoT) menggunakan protokol *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) dan dashboard *Node Red* memungkinkan pemantauan suhu, kelembaban, dan status aktuator secara *real time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan *duty cycle* PWM Peltier dari 100% hingga 1.18% ketika suhu mendekati *set point*, serta menyesuaikan dari 50.2% menjadi 25.1% sesuai variasi suhu dan kelembaban, sementara kipas dan pompa tetap beroperasi. Uji komunikasi IoT menunjukkan keandalan transmisi data dengan waktu 0 detik antara mikrokontroler, MQTT, *Node Red*, mengindikasikan keandalan komunikasi. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan performa kapal tanpa awak melalui pengelolaan komponen listrik yang efektif, hemat energi, serta termonitor dari jarak jauh. Dengan demikian, sistem pendingin berbasis Peltier dan Logika *Fuzzy* Sugeno terbukti efektif menjaga kestabilan suhu dan kelembaban komponen elektrik sekaligus meningkatkan performa, efisiensi energi, dan keandalan operasional kapal tanpa awak.

Kata Kunci: Kapal Tanpa Awak, Peltier TEC12706, ESP32, Logika *Fuzzy* Sugeno, dan *Internet of Things*.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A COOLING SYSTEM FOR ELECTRICAL COMPONENTS IN UNMANNED SURFACE VESSELS UTILIZING PELTIER WITH A FUZZY LOGIC METHOD

By

JENTRIO TAMBA HALOMOAN PURBA

Unmanned surface vessels have limitations in controlling the temperature and humidity of electrical components, which can lead to damage and reduced system reliability. This research designs and builds an integrated cooling system based on the TEC12706 Peltier module, controlled by an ESP32 microcontroller using the Fuzzy Logic Sugeno method. The system is designed to regulate cooling adaptively based on data from the DHT22 temperature and humidity sensor. The control mechanism is performed through 8-bit Pulse Width Modulation (PWM) at a frequency of 5KHz to regulate the Peltier voltage and control the fan and pump via a relay. Internet of Things (IoT) integration using the Message Queue Telemetry Transport (MQTT) protocol and a Node-Red dashboard enables real-time monitoring of temperature, humidity, and actuator status. The test results show that the system is able to reduce the Peltier PWM duty cycle from 100% to 1.18% when the temperature approaches the set point, and adjust from 50.2% to 25.1% according to temperature and humidity variations, while the fan and pump remain operational. The IoT communication test demonstrates reliable data transmission with a 0-second time delay between the microcontroller, MQTT, and Node-Red, indicating excellent communication reliability. The implementation of this system is expected to enhance the reliability and performance of unmanned vessels through effective and energy-efficient management of electrical components, along with remote monitoring. Thus, the cooling system based on Peltier and Fuzzy Logic Sugeno proves effective in maintaining the stability of electrical component temperature and humidity while improving performance, energy efficiency, and operational reliability of unmanned surface vessels.

Keywords: *Unmanned Surface Vessels, Peltier TEC12706, ESP32, Fuzzy Logic Sugeno, and Internet of Things.*

**RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN UNTUK KOMPONEN
ELEKTRIK PADA KAPAL TANPA AWAK MENGGUNAKAN PELTIER
DENGAN METODE LOGIKA *FUZZY***

Oleh

Jentrio Tamba Halomoan Purba

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi S1 Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN
UNTUK KOMPONEN ELEKTRIK PADA KAPAL
TANPA AWAK MENGGUNAKAN PELTIER
DENGAN METODE LOGIKA FUZZY

Nama Mahasiswa : JENTRIO TAMBA HALOMOAN PURBA

No. Pokok Mahasiswa : 2115031077

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001



Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.
NIP. 197310041998032001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program Studi
Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001



Sunadi, S.T., M.T.
NIP. 197311042000031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Herlinawati, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.**



Penguji Bukan

Pembimbing : **Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T, M.Sc. }

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 Agustus 2025.

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2025



Jentrio Tamba Halomoan Purba

NPM. 2115031077

RIWAYAT HIDUP



Jentrio Tamba Halomoan Purba lahir di Doloksanggul pada tanggal 14 Mei 2002. Penulis lahir dari pasangan Ayah Tigor Purba dan Ibu Jubaidah Simanullang sebagai anak kelima dari lima bersaudara dengan dua orang abang yang bernama Maradu Purba, Harjo Manganju Purba, dan dua orang kakak Rosnauli Purba, dan Novayana Purba.

Penulis mempunyai riwayat pendidikan di TK Bina Warga, SD Negeri 173399 Sihite Doloksanggul, SMP Negeri 1 Doloksanggul, dan SMA Negeri 1 Doloksanggul hingga lulus pada tahun 2020. Penulis menjadi mahasiswa baru di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2021 diterima melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non akademik. Penulis aktif dalam organisasi intra kampus, HIMATRO UNILA sebagai anggota departemen pendidikan dan pengembangan diri, dan departemen kaderisasi dan pengembangan organisasi, serta penulis juga aktif menjadi asisten Laboratorium Teknik Kendali dari Tahun 2023-2025. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. PINDAD (Persero) pada tahun 2024 dengan judul laporan “Perancangan Simulasi Sistem *Safety Smoke Grenade Launcher* Pada Kendaaraan Khusus Produksi PT. PINDAD”.

***“Dang adong naso
tarpatupa ni Debata.”***

Persembahan ini kurangkai dengan
tulus dan penuh harapan, khusus untuk
Among, Inong, Abang, Kakak, Lae, dan semua
orang tersayang yang selalu ada di sisiku

SANWACANA

Puji Syukur penulis ucapkan kepada TUHAN YANG MAHA ESA yang telah memberikan nikmat, Kasih dan Karunia-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran dan kemudahan untuk menjalankan perkuliahan, penelitian, dan penulis naskah skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Sistem Pendingin Untuk Komponen Elektrik Pada Kapal Tanpa Awak Menggunakan Peltier Dengan Metode Logika *Fuzzy*”** hingga selesai.

Selama proses menyelesaikan skripsi ini, penulis menyakini banyak mendapatkan bimbingan, masukan, bantuan, dukungan, kritik dan saran dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta dan terkasih, Bapak dan Ibu. Dengan segala kerendahan hati, terima kasih atas cinta, kasih sayang, dan dukungan yang tiada henti. Doa-doa, nasehat, semangat, serta segala pemberian materi dan motivasi adalah pilar kekuatan yang tak ternilai. Bapak dan Ibu adalah alasan utama penulis tidak pernah berhenti berjuang di dalam berbagai cobaan dunia.
2. Ibu Prof. Dr. Ir Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dan juga sekaligus Pembimbing Utama tugas akhir, yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta selalu memberi bantuan, dukungan, motivasi yang tidak akan pernah penulis lupakan. Terima kasih ibu, atas arahan dan nasihat yang selalu diberikan selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dan telah memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi.
6. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing Akademik selaku juga sekaligus Pembimbing Pendamping tugas akhir, yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta selalu memberi bantuan, dukungan, motivasi yang tidak akan pernah saya lupakan. Terima kasih ibu, atas arahan dan nasihat yang selalu diberikan selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto S., S.T., M.T.. selaku Dosen Penguji tugas akhir yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta selalu memberi bantuan, dukungan motivasi yang tidak akan pernah penulis lupakan. Terima kasih bapak, atas arahan dan nasihat yang selalu diberikan selama perkuliahan dan proses penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Kak Perdana Agung Nugraha, S.T. selaku PLP Laboratorium Teknik Kendali. Terima kasih atas ilmu dan diberikannya tempat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Semua pihak dan seluruh responden yang turut serta membantu dan terlibat dalam penyusunan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
11. Keluarga Jeremia Purba yaitu, Bang Maradu Purba, Kak Karin Nababan, Jeremia Purba, Justin Purba, Puan Purba, Syaira Purba, Untuk semua doa yang terpanjat, untuk setiap dukungan yang menguatkan, dan untuk cinta yang tak pernah surut, Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya.
12. Keluarga Kristin Purba yaitu, Bang Harjo Purba, Kak Alm. Roida Simanullang, Kristin Purba, Klara Purba, Alm. Hana Purba, Ian Purba. Terima kasih atas cintanya yang tulus. Terima kasih atas doanya yang selalu mengiringi. Terima kasih atas dukungan dan semangat yang tiada henti. Dan

terima kasih untuk setiap nasihat, arahan, hingga bantuan materi yang sangat berharga.

13. Keluarga Esra Simamora yaitu, Lae Hendra Simamora, Kak Rosnauli Purba, Esra Simamora, Ester Simamora, Kaleb Simamora. Terima kasih banyak untuk semua cinta dan kasih sayangnya. Juga untuk setiap doa, dukungan, semangat, nasehat, motivasi, hingga bantuan materi yang tak pernah putus.
14. Keluarga Arka Sihite yaitu, Lae David Sihite, Kak Novayana Purba, Arkatama Sihite. Untuk semua cinta yang tak terhingga, doa yang selalu terpanjat, dan segala bentuk dukungan yang tak pernah henti, penulis ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya.
15. Keluarga Besar OP. Maradu Purba dan Keluarga Besar OP. Suryadi Simanullang. Terima kasih tak tersampaikan penulis sampaikan atas doa, saran, perhatian, dan segala bentuk dukungan penuh makna yang telah diberikan.
16. Sepupu penulis yaitu, Lumban Ronaldo Purba. Terima kasih untuk setiap doa yang mengiringi, saran yang membangun, canda tawa yang menghangatkan suasana, dan perhatian tulus.
17. Keluarga Anker 21 yaitu, Haqqu, Irfan, Mahesa, Dimas, Matsal, Fauzan, Agra, Aghas, Wayan, Rahmad, Ozi, Kadapi, Tegar, Bimo, Yozi, Azra, Rizki Febrian, Hazel, Sandi, Faris, Iqbal, Hud, Abi, dan Ridho yang telah memberikan banyak cerita, dukungan, motivasi, dan momen-momen lucu yang tak akan terulang di dalam hidup penulis.
18. Keluarga Urip Kader 21, dalam kesempatan ini, penulis ingin berterima kasih kepada semua pihak atas doa yang tak pernah putus, saran dan masukan yang berharga, perhatian yang tulus, serta momen kebersamaan yang mencerahkan setiap langkah dalam penyelesaian skripsi ini.
19. Kosan Wahyudi yaitu Wahyudi, Irfan, Dimas dan Matsal, yang telah memberikan doa, motivasi, dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
20. Keluarga rekan-rekan di Laboratorium Teknik kendali yang selalu memberikan dukungan, pertolongan, canda tawa, dalam setiap proses apapun selama menjadi asisten laboratorium teknik kendali.

21. Keluarga besar Angkatan 2021, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial, dan bantuan dalam berbagai hal.
22. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	1
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	11
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 <i>Thermo Electric Cooler</i> (TEC) atau Peltier	6
2.3 Mikrokontroler ESP 32	7
2.4 Sensor DHT22 <i>Temperature Humidity</i>	8
2.5 <i>Water Block</i>	10
2.6 <i>Water Pump</i>	10
2.7 Modul <i>Step Down</i> DC	11
2.8 <i>Relay</i>	11
2.9 Baterai	12
2.10 <i>Fan</i>	13
2.11 <i>Heatsink</i>	13

2.12 <i>Driver Motor Direct Current (DC) BTS7960</i>	14
2.13 <i>Arduino IDE</i>	15
2.14 <i>Fuzzy Logic</i>	15
2.14.1 <i>Tahapan Sistem Kendali Fuzzy</i>	16
2.14.2 <i>Fungsi Keanggotaan Fuzzy</i>	16
2.15 <i>Internet of Things (IoT)</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 <i>Waktu dan Tempat Penelitian</i>	19
3.2 <i>Alat dan Bahan</i>	19
3.3 <i>Prosedur Penelitian</i>	20
3.4 <i>Perancangan Alat</i>	21
3.4.1 <i>Diagram Blok Perancangan Alat</i>	21
3.4.2 <i>Perancangan Sistem Kerja Alat</i>	22
3.5 <i>Perancangan Logika Fuzzy</i>	23
3.6 <i>Menentukan Nilai Variabel</i>	24
3.6.1 <i>Fuzzifikasi</i>	24
3.6.2 <i>Interferensi Aturan Fuzzy</i>	26
3.6.3 <i>Defuzzifikasi</i>	27
3.7 <i>Pengujian Sistem</i>	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 <i>Implementasi Perancangan</i>	29
4.2 <i>Pengujian Sub Sistem Alat</i>	32
4.2.1 <i>Pengujian Sensor DHT22</i>	29
.....	32
4.2.2 <i>Pengujian Modul Peltier</i>	34
4.2.3 <i>Pengujian Modul Driver</i>	39
4.2.4 <i>Pengujian Modul Relay</i>	41
4.4 <i>Perhitungan Logika Fuzzy</i>	41
4.4.1 <i>Fuzzifikasi</i>	42
4.4.2 <i>Proses Aturan Fuzzy Logic</i>	43
4.4.3 <i>Defuzzifikasi</i>	45
4.5 <i>Pengujian Internet of Things</i>	47
4.5.1 <i>Tampilan Dashboard Internet of Things</i>	47

4.5.2 Pengujian Pengiriman Mikrokontroler ke MQTT dan MQTT ke <i>Node Red</i>	49
4.6 Pengujian Sistem Keseluruhan.....	50
4.6.1 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Perlakuan.....	50
4.6.2 Hasil Pengujian Sistem Dengan Perlakuan	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 <i>Thermo Electric Cooler</i> 12706 (TEC).	7
Gambar 2. 2 Mikrokontroler ESP32.	7
Gambar 2. 3 Sensor DHT22.....	9
Gambar 2. 4 <i>Water Block</i>	10
Gambar 2. 5 <i>Water Pump</i>	10
Gambar 2. 6 Modul <i>Step Down</i> DC	11
Gambar 2. 7 <i>Relay</i>	12
Gambar 2. 8 Baterai.	12
Gambar 2. 9 <i>Fan</i>	13
Gambar 2. 10 <i>Heatsink</i>	14
Gambar 2. 11 <i>Driver Motor Dirrect Current</i> (DC) BTS7960.....	14
Gambar 2. 12 <i>Software</i> Arduino IDE.	15
Gambar 2. 13 Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	17
Gambar 2. 14 Fungsi Keanggotaan Trapesium.	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian.	20
Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Alat.	21
Gambar 3. 3 Diagram Alir Sistem Kerja Alat.	22
Gambar 3. 4 Tahapan Logika <i>Fuzzy</i>	23
Gambar 3. 5 Himpunan Variabel Suhu.	24
Gambar 3. 6 Himpunan Variabel Kelembaban.	25
Gambar 4. 1 <i>Wiring</i> Diagram Sistem Perancangan.....	29
Gambar 4. 2 Realisasi Alat.....	30
Gambar 4. 3 Pengujian Suhu Sensor DHT22.	33
Gambar 4. 4 Pengujian Kelembaban DHT22.	34
Gambar 4. 5 Pengujian Efek Modul Peltier Terhadap Suhu.	36

Gambar 4. 6 Pengujian Efek Peltier Terhadap Kelembaban	38
Gambar 4. 7 Pengujian Tegangan <i>Driver</i> BTS7960.	40
Gambar 4. 8 Tampilan Parameter Implementasi pada Matlab	46
Gambar 4. 9 <i>Workflow Node-Red</i>	47
Gambar 4. 10 <i>Dashboard</i> Sistem Pendingin.....	49
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Suhu Tanpa Perlakuan Dengan Adanya Perlakuan	53
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Kelembaban Tanpa Perlakuan Dengan Adanya Perlakuan	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32.....	8
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor DHT22	9
Tabel 2. 3 Spesifikasi <i>Driver</i> Motor <i>Dirrect Current</i> (DC) BTS7960.....	14
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan.	19
Tabel 3. 2 Variabel <i>Input</i>	26
Tabel 3. 3 Pengujian Alat	27
Tabel 4. 1 Perhitungan Nilai PWM 8-bit, Persentase PWM Aktual, dan Tegangan <i>Output</i> Aktual	31
Tabel 4. 2 Pengujian Nilai Suhu DHT22.	32
Tabel 4. 3 Pengujian Nilai Kelembaban DHT22.	33
Tabel 4. 4 Pengujian Efek Modul Peltier Terhadap Suhu.	35
Tabel 4. 5 Perhitungan Penurunan Suhu Pada PWM Target 20%.	36
Tabel 4. 6 Pengujian Modul Peltier Terhadap Kelembaban.	37
Tabel 4. 7 Perhitungan Kenaikan Kelembaban pada PWM Target 20%.....	38
Tabel 4. 8 Pengujian Tegangan <i>Driver</i> BTS7960.	40
Tabel 4. 9 Pengujian <i>Relay</i>	41
Tabel 4. 10 Contoh Perhitungan Logika <i>Fuzzy</i> untuk Menentukan Kondisi <i>Output</i>	41
Tabel 4. 11 Perhitungan Aturan Logika <i>Fuzzy</i> Sugeno.	43
Tabel 4. 12 Pengujian Pengiriman Mikrokontroler ke MQTT.	49
Tabel 4. 13 Pengujian Pengiriman MQTT ke <i>Node Red</i>	50
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Sistem Tanpa Perlakuan.	50
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Sistem Dengan Perlakuan Percobaan Pertama.	51
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Sistem Dengan Perlakuan Percobaan Kedua.	52

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi perairan, khususnya pada bidang *Unmanned Surface Vehicle* (USV), telah mencapai kemajuan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Kapal nirawak memiliki beragam fungsi, mulai dari peninjauan lingkungan hingga pemantauan wilayah perairan. Akan tetapi, tantangan utama dalam pengoperasiannya terletak pada pengendalian suhu dan kelembaban komponen listrik di dalamnya. Suhu yang tidak terkendali berpotensi mengakibatkan kerusakan perangkat elektronik, menurunkan efisiensi kinerja operasional, hingga memicu kegagalan sistem secara menyeluruh [1].

Sistem pendingin yang efisien sangat dibutuhkan untuk memastikan suhu komponen listrik tetap berada dalam batas aman. Salah satu solusi potensial adalah pemanfaatan modul Peltier, yang mampu berperan sebagai pendingin atau pemanas dengan memanfaatkan efek termoelektrik. Dengan menggabungkan teknologi Peltier dan mikrokontroler ESP32 dengan metode Logika *Fuzzy* guna menentukan kondisi *output* yang optimal dari kipas, pompa, dan modul Peltier berdasarkan pembacaan sensor suhu dan kelembaban yang dilengkapi kemampuan konektivitas *Internet of Things* (IoT), sistem pendingin dapat dikembangkan tidak hanya menjadi lebih hemat energi, tetapi juga terpantau dan terkendali dari jarak jauh [2].

Dengan memanfaatkan IoT, sistem pendingin ini dapat dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban yang terhubung ke *dashboard Node-Red* dengan pengaturan protokol *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT). Hal ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*, serta menerima pemberitahuan jika terjadi perubahan suhu atau kelembaban yang signifikan. Penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan performa kapal nirawak, sekaligus memberikan solusi yang lebih baik dalam pengelolaan komponen listrik [3].

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat tercipta sistem pendingin yang efektif dan hemat energi untuk komponen listrik pada kapal nirawak, serta memberikan sumbangsih dalam pengembangan teknologi kelautan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini juga diharapkan mampu menjadi rujukan bagi pengembangan sistem serupa di masa depan, baik dalam bidang perairan maupun penerapan lain yang membutuhkan pengendalian suhu dan kelembapan secara optimal [4].

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian yang dibahas adalah bagaimana membuat alat pengontrol suhu dan kelembapan dengan menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno serta dapat dimonitoring oleh sensor DHT22 yang dapat memantau suhu dan kelembapan, dan pemantauan data secara *real time* berbasis IoT.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka batasan masalah adalah sebagai berikut

1. Penelitian ini hanya berfokus untuk menjaga nilai suhu dan kelembapan pada sistem pendingin komponen elektrik yang ada di kapal tanpa awak.
2. Penelitian dikontrol dengan menggunakan peltier sebagai media pendingin.
3. Penggunaan protokol MQTT dan *platform Node Red* pada penelitian ini hanya dirancang untuk menampilkan data yang didapat oleh sistem dengan tujuan monitoring suhu dan kelembapan pada kapal tanpa awak.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat rancang bangun sistem pendingin dengan menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno untuk komponen elektrik pada kapal tanpa awak.
2. Membuat pemantauan data secara *real-time* berbasis *IoT*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem pendingin dengan menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno yang efektif untuk komponen elektrik pada kapal tanpa awak, dengan menjaga suhu dan kelembapan dalam batas yang aman, diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan umur pakai perangkat elektronik, sehingga mengurangi risiko kerusakan dan kegagalan sistem.

1.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sistem yang dirancang menggunakan metode logika *fuzzy* sugeno dapat mengontrol suhu dan kelembapan pada sistem pendingin komponen elektrik di kapal tanpa awak menggunakan media peltier serta, data pada sistem dapat dipantau secara *real time* berbasis IoT.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tempat, alat dan bahan, metode penelitian, dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang perancangan peralatan dan pembahasan data hasil pengujian alat yang dibuat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran berdasarkan hasil penelitian untuk pengembangan yang lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Fadillah Ikhsan Herfianto (2023) dengan judul Rancang Bangun Pengontrol Suhu *Blood Carrier Box* Menggunakan Elemen Peltier dan Sensor DS18B20 Berbasis IoT. Penelitian ini berfokus pada pembuatan prototipe *blood carrier box* (wadah penyimpanan darah trombosit) yang memanfaatkan elemen Peltier sebagai komponen pendingin, dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan sensor DS18B20 sebagai sensornya, dan dipantau melalui *platform* IoT. Tujuan utamanya adalah menjaga suhu ideal (20°C – 24°C) bagi trombosit (*Thrombocyte Concentrate/TC*) agar kualitasnya tetap terjaga selama masa penyimpanan. Hasil pengujian pengujian sensor DS18B20 didapatkan nilai rata-rata *error* pembacaan sensor sebesar 0.56% dengan rata – rata selisih bernilai 0.17°C [5].

Penelitian oleh Renita Comalasari Dewi Simanjuntak, Diana Alia (2024) dengan judul Rancang Bangun *Cooler Box Portable* Menggunakan Peltier. Hasil dari penelitian ini adalah membuktikan bahwa seluruh bagian alat beroperasi dengan optimal. *Cooler box* tersebut terbukti mampu mempertahankan suhu dalam kisaran 5°C hingga 10°C , rentang yang ideal untuk memperlambat pembusukan ikan, sehingga efektif digunakan dalam preservasi bahan pangan. Analisis performa sistem pendingin dilakukan dengan mengukur laju penurunan suhu, suhu minimum yang tercapai, kecepatan pendinginan, serta konsumsi energi. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjaga stabilitas suhu secara konsisten di berbagai kondisi operasional tingkat kesalahan rata-rata 3,75%, yang masih dalam batas toleransi aman dan membuktikan keefektifan alat dalam pengukuran yang presisi [6].

Penelitian oleh R.Umboh, J.O. Wuwung (2020) dengan judul Perancangan Alat Pendinginan *Portable* Menggunakan Elemen Peltier. Penelitian ini menguji kinerja kulkas mini portabel berbasis modul Peltier melalui serangkaian eksperimen. Salah satu temuan utama adalah kemampuan alat dalam menurunkan suhu secara nyata. Pada uji pertama, penurunan suhu mencapai 1,6°C (5,07%) untuk 100 ml air dan 3°C (9,43%) untuk 200 ml. Uji kedua menunjukkan penurunan lebih tinggi, yaitu 3,5°C (10,67%) untuk 100 ml dan 3,6°C (11,28%) untuk 200 ml. Sementara itu, uji ketiga mencatat penurunan 1,8°C (5,84%) untuk 100 ml dan 1,9°C (6,10%) untuk 200 ml. Data mengungkapkan bahwa volume air 200 ml menghasilkan penurunan suhu lebih besar dibandingkan 100 ml, diduga karena kemampuan transfer panas modul Peltier yang lebih optimal saat bekerja pada massa cairan lebih besar. Secara rata-rata, tiga pengujian menunjukkan penurunan suhu 2,3°C (7,19%) untuk 100 ml dan 2,8°C (8,93%) untuk 200 ml [7].

Penelitian oleh Ahda Ikhasul, Amal, Yulianto (2023) dengan judul Perancangan *Smart Food Box* Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Berbasis IoT. Penelitian ini bertujuan menjaga kesegaran makanan lebih lama menggunakan modul termoelektrik peltier. uji performa tanpa beban membuktikan kemampuan alat dalam mempertahankan suhu stabil 13°C selama 2,5 jam. Efisiensi pendinginan juga diuji dengan beban 600 ml air, menunjukkan konsistensi kinerja sistem. Hasil pengujian penyimpanan bahan pangan seperti sayuran, buah, dan tempe selama 63 jam membuktikan bahwa makanan dalam *Smart Food Box* tetap segar. Dengan kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan akurasi pengukuran suhu, dengan rata-rata kesalahan yang dicapai hanya 0,07% [8].

Penelitian oleh Arfend Atma Maulana Khalifa, Kiki Prawioredjo (2021) dengan judul Model Sistem Pengendalian Suhu dan Kelembaban Ruang Produksi Obat Berbasis Nodemcu ESP32. Penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian suhu dan kelembaban otomatis yang dirancang khusus untuk lingkungan produksi farmasi. Sistem ini mengandalkan sensor DHT11 untuk memonitor suhu dan kelembaban secara *real-time*. Pengaturan kondisi lingkungan dilakukan secara otomatis menggunakan kipas Peltier dan *dehumidifier*, yang langsung merespon penyimpangan dari parameter yang ditetapkan tanpa memerlukan intervensi manual. Sistem ini berhasil mempertahankan kondisi lingkungan sesuai standar Cara

Pembuatan Obat yang Baik (CPOB) untuk ruang produksi Kelas C dan D. Pada ruang Kelas C, suhu dipertahankan dalam rentang 16°C hingga 25°C dengan kelembaban 45%-55%, sedangkan untuk Kelas D, suhu dijaga antara 20°C hingga 27°C dan kelembaban 40%-60% [9].

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu yang telah dijelaskan di atas. Penelitian ini berfokus pada penggunaan elemen peltier terhadap pendinginan komponen elektrik dan menggunakan sensor DHT22 sebagai monitoringnya yang keluarannya akan ditampilkan secara *real-time* melalui Nilai data akan ditampilkan melalui IoT dengan menggunakan *platform Node-Red* ditambah bantuan protokol MQTT.

2.2 Thermo Electric Cooler (TEC) atau Peltier

Pendingin termoelektrik merupakan suatu *solid state technology* yang dapat menjadi alternatif teknologi pembangkit listrik atau dapat juga menjadi pemompa kalor. Efek termoelektrik sendiri merupakan sebuah fenomena konversi langsung dari perbedaan listrik menjadi temperatur suhu atau sebaliknya [10]. TEC 12706 Merupakan salah satu modul dari termoelektrik dimana pada nama tersebut memiliki arti pada TEC mengartikan Termoelektrik *Cooler* dan 127 merupakan jumlah PN *Junction* dan 06 merupakan *ampere* maksimal dari termoelektrik. Termoelektrik dapat digunakan menjadi dua yaitu efek *seebeck* yang ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 dimana pada efek ini ditemukan bahwa termoelektrik dapat membawa arus listrik mengalir pada rangkaian dua kawat berbeda bahan yang disambungkan kedua ujungnya dan pada salah satu kawatnya dipanaskan.

Terdapat juga efek peltier yang ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 dimana pada efek ini ditemukan bahwa akan terjadi pemanasan dan pendinginan pada kedua kawat yang berbeda bahan yang dialiri arus listrik DC. TEC 12706 tersusun dari banyak pasangan dengan bahan semikonduktor atau dapat disebut juga sebagai elemen. Setiap bahan semikonduktor tersebut memiliki 2 kaki yang disebut dengan *pellet*. Dimana satu kaki tersusun atas tipe kaki jenis-n dan satu kaki tersusun atas tipe kaki jenis-p yang terhubung secara seri. Berikut

merupakan gambar *Thermo Electric Cooler* 12706 (TEC12706) seperti Gambar 2.1 [11].



Gambar 2. 1 *Thermo Electric Cooler* 12706 (TEC).

2.3 Mikrokontroller ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler dikembangkan oleh Espressif Systems, dengan pengembangan teknologi yang menggabungkan modul Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu *System-on-a-Chip* (SoC). Pengembangan tersebut menjadikannya solusi unggulan untuk pengembangan perangkat *Internet of Things* (IoT). Kemampuan ini menawarkan performa lebih unggul dibandingkan generasi ESP8266, yang hanya menggunakan inti tunggal dengan kecepatan maksimal 160 MHz. Dengan kombinasi efisiensi dan konektivitas nirkabel, ESP32 menjadi pilihan utama untuk aplikasi IoT yang memerlukan pemrosesan cepat dan stabil. Berikut merupakan gambar ESP32 pada Gambar 2.2 berikut [12].



Gambar 2. 2 Mikrokontroler ESP32.

Terdapat spesifikasi berdasarkan katalog dari Mikrokontroler ESP32 yang dapat dilihat dari Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32 [13].

<i>Categories</i>	<i>Item</i>	<i>Specification</i>
<i>Certification</i>	• <i>RF certification</i>	FCC/ CE-RED/ IC/ TELEC/ KCC/ SRRC/ NCC
	• <i>Wi-Fi certification</i>	<i>Wi-Fi Alliance</i>
	• <i>Bluetooth certification</i>	BQB
	• <i>Green certification</i>	RoHS/REACH
<i>Test</i>	<i>Reliability</i>	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
<i>WiFi</i>	• <i>Protocols</i>	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 μ s guard interval support
	• <i>Frequency range</i>	2.4 GHz ~ 2.5 GHz
<i>Bluetooth</i>	• <i>Protocols</i>	<i>Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification</i>
	• <i>Radio</i>	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity Class-1, class-2 and class-3 transmitter AFH
	• <i>Audio</i>	CVSD and SBC
<i>Hardware</i>	• <i>Module interfaces On-chip</i>	SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC
	• <i>On-chip sensor</i>	<i>Hall sensor</i>
	• <i>Integrated crystal</i>	40 MHz crystal
	• <i>Integrated SPI flash</i>	4 MB
	• <i>Operating voltage / Power supply</i>	2.7 V ~ 3.6 V
	• <i>Operating current</i>	Average: 80 mA
	• <i>Minimum current delivered by power supply</i>	500 mA
	• <i>Operating temperature range</i>	-40 °C ~ +85 °C (18.00 $\pm$ 0.10)

2.4 Sensor DHT22 *Temperature Humidity*

Sensor DHT22 adalah salah satu sensor yang dapat mengukur dua parameter lingkungan sekaligus, yakni suhu (*temperature*) dan kelembaban udara (*humidity*). Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan kapasitor dan termistor untuk memperkirakan kondisi udara, yang kemudian diubah menjadi sinyal yang dikirim melalui pin data [14]. DHT22 (juga dikenal sebagai AM2302) adalah sensor suhu dan kelembaban seperti DHT11, namun memiliki kelebihan seperti *Output* sudah berupa sinyal digital dengan konversi dan perhitungan dilakukan

oleh MCU 8-bit, DHT-22 lebih akurat dalam hasil pengukuran dibanding DHT11. Berikut merupakan gambar dari sensor DHT22 seperti Gambar 2.3 [15].



Gambar 2. 3 Sensor DHT22.

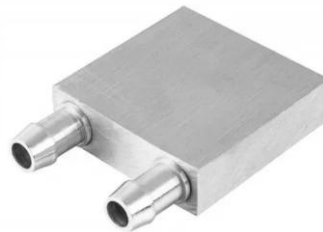
Spesifikasi yang dimiliki oleh sensor DHT22 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor DHT22 [16].

<i>Model</i>	DHT22
<i>Power Supply</i>	3.3-6V DC
<i>Output Signal</i>	<i>digital signal via single-bus</i>
<i>Sensing element</i>	<i>Polymer capacitor</i>
<i>Operating range</i>	<i>humidity 0-100%RH;</i> <i>temperature -40~80Celsius</i>
<i>Accuracy</i>	<i>humidity +2%RH(Max +5%RH);</i> <i>temperature <+-0.5Celsius</i>
<i>Resolution or sensitivity</i>	<i>humidity 0.1%RH;</i> <i>temperature 0.1Celsius</i>
<i>Repeatability</i>	<i>humidity +-1%RH;</i> <i>temperature +-0.2Celsius</i>
<i>Humidity hysteresis</i>	+0.3%RH
<i>Long-term Stability</i>	+0.5%RH/year
<i>Sensing period</i>	Average: 2s
<i>Interchangeability</i>	<i>fully interchangeable</i>
<i>Dimensions</i>	<i>small size 14*18*5.5mm;</i> <i>big size 22*28*5mm</i>

2.5 Water Block

Water block merupakan komponen utama dalam sistem pendingin menggunakan air (*water cooling*) yang berfungsi menyerap dan mentransfer panas dari sumber kalor, seperti prosesor atau kartu grafis, ke cairan pendingin. Terbuat dari material berkonduktivitas termal tinggi, seperti tembaga atau aluminium, *water block* dirancang dengan struktur internal berupa saluran-saluran mikro (*microchannels*) untuk memperluas area kontak antara permukaan logam dan cairan, sehingga meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Berikut adalah gambar *water block* pada Gambar 2.4 [17].



Gambar 2. 4 *Water Block*.

2.6 Water Pump

Pompa air merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengalirkan, memindahkan dan mensirkulasikan zat cair *incompressible* dengan cara menaikkan tekanan dan kecepatan dari suatu tempat ke tempat lain melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap (*suction*) dan bagian tekan (*discharge*). Berikut adalah gambar *water pump* pada Gambar 2.5 [18].



Gambar 2. 5 *Water Pump*.

2.7 Modul Step Down DC

Buck-boost converter adalah konverter DC (*Direct Current*) yang *output* tegangannya dapat lebih besar atau lebih rendah dari tegangan *input*, dan juga tegangan *output*nya selalu bernilai negatif. Seperti halnya konverter *buck* dan konverter *boost*, konverter *buck-boost* memiliki rangkaian yang terdiri dari induktor, kapasitor, *diode freewheel*, dan komponen *switching* seperti *Thyristor*, MOSFET, IGBT, dan GTO. Proses *switching* pada konverter ini juga disulut oleh PWM sebagai pengaturan *duty cycle* yang sangat berpengaruh pada besar kecilnya tegangan *output* dari *buck-boost converter* [19].

Rangkaian *Non-inverting Buck-Boost* (NIBB) menggunakan dua buah *switch mode buck* dan *switch mode boost*. Rangkaian NIBB memiliki tiga mode operasi, yaitu *mode buck*, *boost*, dan *buck-boost*. Ketika tegangan *input* lebih rendah dari tegangan yang diinginkan, rangkaian menjadi *mode boost*. Sebaliknya, ketika tegangan *input* lebih tinggi dari tegangan yang diinginkan, maka menjadi *mode buck*. Ketika tegangan input stabil mendekati tegangan yang diinginkan, maka akan beroperasi dalam *mode buck-boost*. Berikut adalah gambar modul *Step Down DC* pada Gambar 2.6 [20].

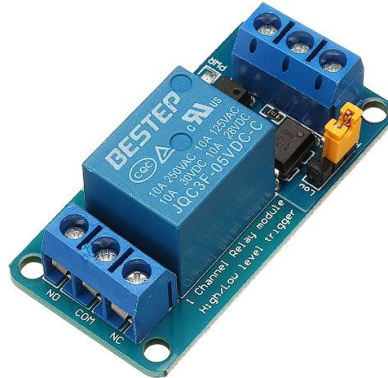


Gambar 2. 6 Modul *Step Down DC*

2.8 Relay

Relay merupakan saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *electromechanical*, yang terdiri atas dua bagian utama, yakni elektromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). *Relay* menggunakan elektromagnetik untuk menggerakkan kontak

saklar, sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi, serta bekerja pada tegangan input 5 VDC. Berikut adalah gambar *Relay* pada Gambar 2.7 [21].



Gambar 2. 7 Relay.

2.9 Baterai

Baterai merupakan sel elektrokimia yang berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai *lithium-ion* termasuk jenis baterai sekunder atau *rechargeable battery*, yaitu baterai yang dapat diisi ulang dan memiliki tegangan penuh 4,2 V serta tegangan minimum 3,7 V. Baterai ini dianggap ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya seperti baterai *Ni-Cd* dan *Ni-MH* yang digunakan sebelumnya. Selain itu, baterai *lithium-ion* memiliki daya tahan yang lebih lama dan dapat bertahan hingga sekitar 10 tahun. Karena keunggulan tersebut, baterai *lithium-ion* banyak dimanfaatkan dalam berbagai perangkat elektronik modern. Berikut adalah gambar Baterai pada Gambar 2.8 [22].



Gambar 2. 8 Baterai.

2.10 *Fan*

Fan merupakan sebuah perangkat yang dapat digunakan untuk mengatur panas udara agar dalam suatu ruangan tidak mengalami suhu panas dan dapat bersirkulasi udara secara normal. Biasanya *fan* digunakan untuk ventilasi, pendingin dan penyegar udara, hingga sebagai pengering. Sistem *fan* dapat berubah – ubah fungsinya tergantung keinginan dari pengguna. *Fan* dapat dimaksimalkan dengan berbagai komponen lainnya, seperti untuk memberikan hawa dingin pada suatu ruangan *fan* dapat dibantu dengan es untuk menciptakan suatu hawa dingin. *Fan* memiliki dua jenis yaitu *centrifugal* yang mengartikan angin akan mengalir searah dengan poros *fan*, dan *axial* yang mengartikan angin mengalir secara paralel dengan poros *fan*. *Fan* juga dapat digunakan dengan arus searah (*direct current*) maupun arus bolak balik (*alternating current*). Berikut adalah gambar *Fan* pada Gambar 2.9 [23].



Gambar 2. 9 *Fan*.

2.11 *Heatsink*

Heatsink merupakan sebuah komponen yang terdiri dari plat – plat aluminium yang berbentuk seperti memiliki sirip – sirip untuk memperluas bidang sentuh dengan udara atau fluida dingin lainnya [24]. *Heatsink* dapat meredam panas yang berlebih, dengan sistem membagikan panas pada setiap lempengan aluminium. Biasanya *heatsink* digunakan pada suatu rangkaian elektronika yang memungkinkan adanya perubahan suhu yang mengakibatkan terjadinya panas berlebih. Dalam penggunaannya biasanya *heatsink* didekatkan atau dapat ditempelkan kepada benda yang berkemungkinan akan mengalami panas berlebih, dalam memaksimalkan

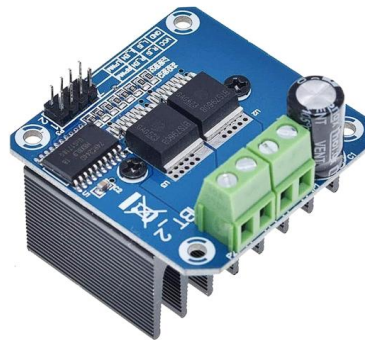
heatsink biasanya juga dapat dibantu dengan *fan* agar memperkecil panas yang berlebihan. Berikut adalah gambar *Heatsink* pada Gambar 2.10 [25].



Gambar 2. 10 *Heatsink*.

2.12 *Driver Motor Direct Current (DC) BTS7960*

Pada *driver* motor DC ini dapat mengeluarkan arus hingga 43A, dengan memiliki fungsi PWM. Tegangan sumber DC yang dapat diberikan antara 5.5V-27VDC, sedangkan tegangan *input* level antara 3.3V-5VDC, driver motor ini menggunakan rangkaian *full H-bridge* dengan IC BTS7960 dengan perlindungan saat terjadi panas dan arus berlebihan. Berikut adalah gambar *Driver Motor Dirrect Current (DC) BTS7960* pada Gambar 2.11 [26].



Gambar 2. 11 *Driver Motor Dirrect Current (DC) BTS7960*.

Terdapat spesifikasi berdasarkan katalog dari *Driver Motor Dirrect Current (DC) BTS7960* yang dapat dilihat dari Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Spesifikasi *Driver Motor Dirrect Current (DC) BTS7960*.

• <i>Input Voltage</i>	6 ~ 27Vdc.
• <i>Driver</i>	Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
• <i>Peak current</i>	43-Amp.
• <i>PWM capability</i>	up to 25 kHz.

• <i>Control Input Level</i>	3.3~5V.
• <i>Control Mode</i>	PWM or level
• <i>Working Duty Cycle</i>	0 ~100%.
• <i>Size:</i>	46mm x 46mm x 38mm.
• <i>Weight:</i>	~66g.

2.13 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode ke *board* Arduino. IDE ini mendukung bahasa pemrograman C/C++ dan menyediakan pustaka-pustaka bawaan yang memudahkan untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan perangkat lainnya. Beberapa fitur utama dari IDE ini adalah *editor* kode, kompilator untuk mendeteksi kesalahan, dan tombol *upload* untuk mengirimkan program ke *board* Arduino lewat koneksi USB. Berikut adalah gambar *Software* Arduino IDE pada Gambar 2.12 [27].



Gambar 2. 12 *Software* Arduino IDE.

2.14 Logika *Fuzzy*

Logika *Fuzzy* merupakan sebuah logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzziness*) antara nilai benar dan salah. Dengan menggunakan logika fuzzy suatu sistem dapat memiliki keluaran selain benar dan salah. Menurut Lotfi Zadeh bahwa logika benar dan salah dari logika *boolean* tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada pada dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan *fuzzy*. Tidak seperti logika *Boolean*, logika *fuzzy* mempunyai nilai yang berkelanjutan.

Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian besar dan sebagian salah pada waktu yang sama. Berdasarkan hal tersebut logika *fuzzy* dapat digunakan untuk memodelkan suatu permasalahan yang matematis, Dimana konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti [28].

2.14.1 Tahapan Sistem Kendali *Fuzzy*

a) Fuzzifikasi

Pada tahap fuzzifikasi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan variabel *fuzzy* serta himpunan *fuzzy* yang sesuai. Setelah itu, dilakukan perhitungan derajat kesepadan (*degree of match*) antara data masukan dengan himpunan *fuzzy* yang telah ditetapkan. Proses ini menggunakan fungsi keanggotaan yang berbentuk kurva untuk memetakan setiap nilai input ke dalam derajat keanggotaannya. Nilai keanggotaan tersebut berada dalam rentang antara 0 hingga 1, yang merepresentasikan sejauh mana suatu nilai termasuk dalam himpunan *fuzzy* tertentu.

b) Aturan *Fuzzy*

Aturan yang digunakan pada himpunan *fuzzy* merupakan aturan *IF-THEN*. Aturan *IF-THEN* merupakan pernyataan yang direpresentasikan dengan.

$$IF < \text{proposisi fuzzy} > THEN < \text{proposisi fuzzy} >$$

Proposisi *fuzzy* dibedakan menjadi dua, proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* adalah pernyataan *single* dimana sebagai variabel linguistik dan adalah himpunan *fuzzy* dari proposisi *fuzzy compound* adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator “or”, “and”, dan “not”.

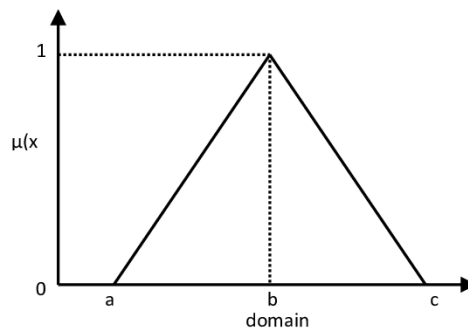
c) Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. Mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* yang dimaksud disini adalah hasil *output* yang diperoleh dari hasil inferensi. Pada defuzzifikasi ada tiga kriteria yang harus dipenuhi yaitu masuk akal, perhitungannya sederhana dan kontinu. Berikut metode yang digunakan untuk defuzzifikasi.

2.14.2 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan *fuzzy* adalah suatu fungsi yang digunakan untuk memetakan setiap elemen dalam himpunan ke nilai keanggotaan dalam rentang $[0,1]$. Dalam setiap metode logika *fuzzy*, terdapat fungsi keanggotaan (*membership function*) yang berperan sebagai kurva untuk memetakan nilai input ke dalam tingkat keanggotaannya dalam sistem *fuzzy*. Fungsi ini memungkinkan perhitungan nilai keanggotaan melalui pendekatan matematis yang sesuai. Beberapa jenis fungsi keanggotaan yang umum digunakan dalam logika *fuzzy* antara lain sebagai berikut:

1. Fungsi keanggotaan Segitiga (*Tringular Membership Function*)

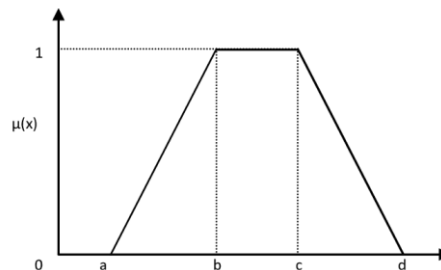


Gambar 2. 13 Fungsi Keanggotaan Segitiga.

Gambar 2.13 tersebut memperlihatkan bahwa kurva segitiga merupakan kombinasi dari 2 garis linear dan memiliki 3 parameter sehingga fungsi ini memiliki puncak pada nilai tertentu. Fungsi keanggotaan segitiga memiliki parameter a , b , dan c yang menentukan titik - titik pada segitiga tersebut. Adapun persamaan untuk kurva fungsi keanggotaan segitiga sebagai berikut.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots(2.1)$$

• Fungsi Keanggotaan Trapesium (*Trapezional Membership Function*)



Gambar 2. 14 Fungsi Keanggotaan Trapesium.

Gambar 2.14 memperlihatkan bahwa kurva trapesium merupakan penggabungan dari fungsi keanggotaan yang membentuk trapesium dengan sisi tegak dan sisi miring. Fungsi ini mirip seperti fungsi segitiga namun, pada fungsi trapesium terdapat nilai yang mempunyai derajat keanggotaan = 1 [29]. Pada fungsi kurva trapesium memiliki beberapa nilai yang memiliki nilai keanggotaan = 1 dimana merupakan koordinat dari (u) dari keempat sudut $\Pi(u)$. Fungsi ini memungkinkan untuk mendefinisikan rentang nilai input yang lebih fleksibel daripada fungsi segitiga. Fungsi ini memiliki parameter a, b, c, dan d yang menentukan titik pada trapesium tersebut. Adapun persamaan untuk kurva fungsi keanggotaan trapesium sebagai berikut.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots(2.2)$$

2.15 Internet of Things (IoT)

IoT merupakan konsep inovatif yang memungkinkan perangkat fisik terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet. Teknologi ini melibatkan perpaduan komponen seperti sensor (pengumpul data), aktuator mikroprosesor (pengolah informasi), dan sistem komunikasi. Dengan menggabungkan elemen-elemen tersebut, IoT membentuk ekosistem cerdas yang mampu mengolah data secara *real-time*, mulai dari pengumpulan, analisis, hingga pemanfaatan untuk menghasilkan tindakan otomatis tanpa intervensi manusia [30]. Keberadaan IoT mentransformasi pola interaksi manusia dengan lingkungan sekitar, menghadirkan solusi efisiensi, serta memudahkan pengawasan dan kontrol sistem secara jarak jauh [31].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan dilaksanakan Januari – Juli 2025, di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

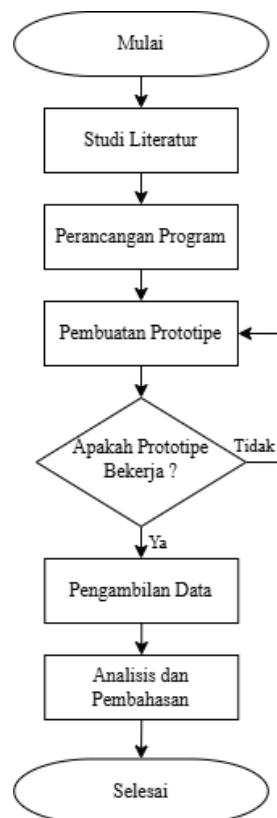
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan.

No	Alat dan Bahan	Spesifikasi
1	Laptop AMD Ryzen 5 5500U	Laptop dengan spesifikasi setara laptop AMD Ryzen 5 5500 U digunakan untuk studi literatur, merancang program, analisis data, dan membuat laporan penelitian.
2	Mikrokontroler ESP32	Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengintegrasikan fungsi komponen yang digunakan pada alat yang dibuat.
3	DHT22 Sensor Temperature Humidity DFROBOOT	DHT22 Sensor <i>Temperature Humidity</i> digunakan sebagai alat untuk mengukur nilai suhu kelembaban.
4	<i>Water Block</i>	<i>Water Block</i> digunakan sebagai perantara yang menyerap panas dari komponen dan memindahkannya ke cairan yang di pompa dari air tambak udang .
5	Selang <i>Silicon</i> 5x7mm	Selang <i>Silicon</i> 5x7mm digunakan sebagai alat untuk mengalirkan cairan pendingin dari <i>Water Block</i> menuju <i>Water Block</i> lainnya.
6	<i>Water Pump</i>	<i>Water Pump</i> digunakan sebagai alat untuk mengukur memompa air dari tambak udang menuju <i>Water Block</i> .
7	Peltier TEC 12706	Peltier TEC 12706 digunakan sebagai alat untuk mendinginkan komponen elektronik yang menghasilkan panas tinggi.
8	Kipas <i>DC</i>	Kipas <i>DC</i> digunakan sebagai alat untuk menyebarkan suhu dingin yang dihasilkan oleh Peltier menuju komponen yang menghasilkan panas tinggi.

No	Alat dan Bahan	Spesifikasi
9	<i>Relay 2 Channel</i>	<i>Relay 2 Channel</i> digunakan sebagai komponen untuk menghubungkan atau memutuskan arus yang mengalir pada <i>Water Pump</i> .
10	Baterai 21700 4500mAh	Baterai 21700 4500mAh digunakan untuk menyuplai energi listrik DC bagi komponen elektronik tanpa harus tersambung ke listrik.
11	Modul <i>Step Down</i> DC	Modul <i>Step Down</i> DC digunakan untuk menurunkan tegangan DC yang dihasilkan oleh Baterai.
12	<i>Driver</i> BTS 7960	Driver digunakan sebagai sinyal kontrol tegangan rendah dari mikrokontroler menjadi arus dan tegangan yang signifikan yang dibutuhkan oleh Peltier.
13	<i>Heatsink</i>	<i>Heatsink</i> digunakan untuk mereduksi panas yang dihasilkan sisi panas peltier guna meningkatkan efisiensi kinerja sisi dinginnya.

3.3 Prosedur Penelitian

Diagram alir dari prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian.

Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap berbagai referensi seperti jurnal ilmiah, artikel, dan sumber bacaan lainnya. Setelah memperoleh dasar pengetahuan secara teoritis, langkah selanjutnya adalah merancang program. Jika

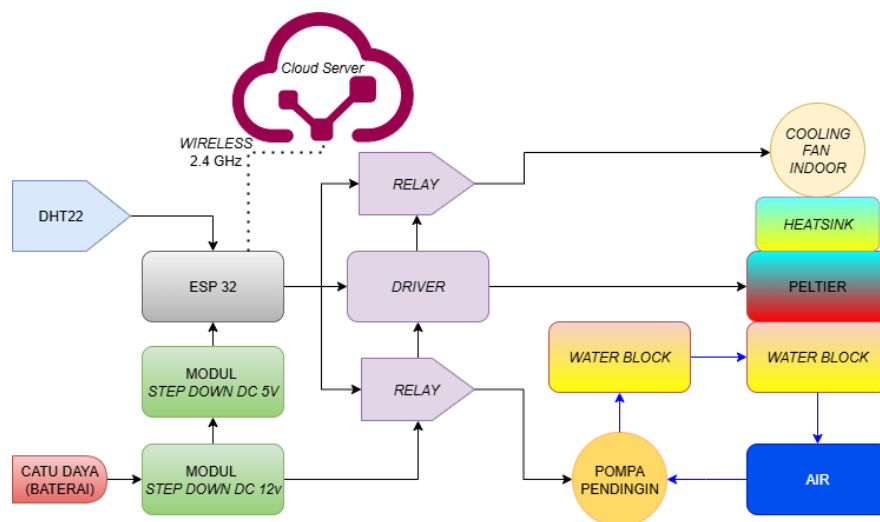
program telah berhasil dirancang, tahap berikutnya adalah pembuatan prototipe alat berdasarkan rancangan tersebut. Kemudian prototipe tersebut diuji, apabila dalam pengujian prototipe tidak berfungsi, proses akan kembali ke tahap pembuatan prototipe untuk memastikan kesesuaian dengan rancangan awal. Jika prototipe sudah berfungsi dengan baik, langkah berikutnya adalah pengumpulan data. Setelah data terkumpul, data tersebut dianalisis dan dibahas berdasarkan pemahaman teoritis dari studi literatur, kemudian penelitian dinyatakan selesai.

3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Diagram Blok Perancangan Alat

Diagram blok perancangan alat penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



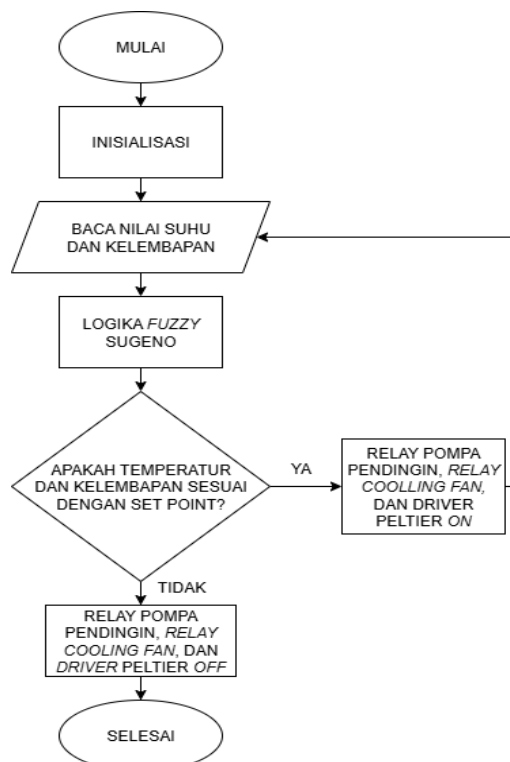
Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Alat.

Diagram blok diatas menggambarkan sistem yang terdiri dari sensor suhu dan kelembaban (DHT22) yang berfungsi untuk mengukur parameter keadaan lingkungan. Data yang diterima dari sensor suhu dan kelembaban diolah oleh ESP32, yang merupakan mikrokontroler yang digunakan pada sistem ini. Kemudian, hasil pengolahan data akan dikirimkan menuju *cloud server* dengan tujuan untuk pemantauan suhu, kelembaban, dan kondisi output jarak jauh menggunakan sinyal *wi-fi* 2.4 GHz secara *real-time*.

Sistem ini menggunakan sumber daya baterai 16V yang disalurkan melalui *modul step down* DC 12V untuk menyesuaikan tegangan operasional pada komponen kipas, pompa, dan peltier, serta *step down* DC 5V untuk menyesuaikan tegangan operasional pada mikrokontrol ESP32. Peltier dikontrol menggunakan *driver* guna mengontrol tegangan input peltier, serta peltier memiliki dua sisi yaitu sisi dingin peltier ditempelkan dengan *heatsink* dan *colling fan* yang diaktifkan menggunakan *relay* dengan tujuan menyalurkan suhu dingin yang dihasilkan oleh peltier yang mengarah ke komponen elektrik guna meningkatkan efisiensi kinerja komponen. Kemudian, *water pump* yang diaktifkan menggunakan *relay* yang dikontrol menggunakan mikrokontroler ESP32. Lalu, *water pump* akan memompa air menuju *water block* pada sisi panas peltier yang terhubung langsung dengan tujuan mereduksi panas guna meningkatkan efisiensi kinerja peltier.

3.4.2 Perancangan Sistem Kerja Alat

Adapun diagram alir sistem kerja alat pada tugas akhir ini adalah pada Gambar 3.3 berikut.

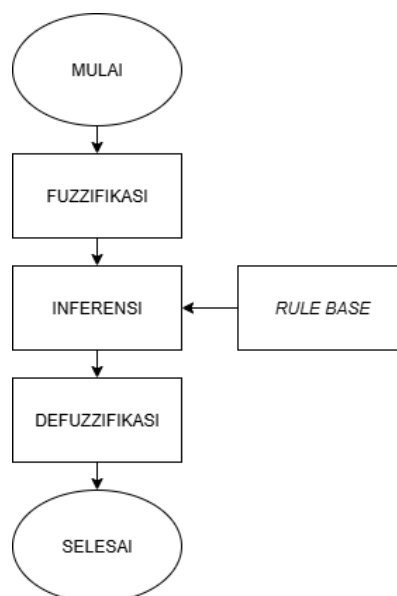


Gambar 3. 3 Diagram Alir Sistem Kerja Alat.

Pada Gambar 3.3 diagram alir perancangan prototipe menunjukkan bahwa sistem ini diawali dengan inisialisasi sensor temperatur dan kelembapan, ESP32, dan *driver* peltier. Selanjutnya sistem akan memeriksa nilai temperatur dan kelembapan yang dideteksi oleh sensor sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan. Lalu menuju perancangan logika *fuzzy* untuk menentukan parameter keanggotaan dari *input* agar *output* berjalan otomatis sesuai yang diinginkan. Jika nilai temperatur dan kelembapan telah sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan maka *relay* pompa pendingin, *relay cooling fan*, *driver* peltier akan aktif dan kemudian proses akan kembali menuju pembacaan nilai temperatur dan kelembapan. Jika nilai temperatur dan kelembapan yang terdeteksi tidak sesuai dengan *set point*, maka *relay* pompa pendingin, *relay cooling fan*, *driver* peltier akan mati kemudian proses sistem akan selesai.

3.5 Perancangan Logika *Fuzzy*

Pada proses perancangan logika *fuzzy* dengan metode sugeno bertujuan untuk menentukan nilai *crisp* berdasarkan pembacaan data sensor suhu, sensor dan kelembapan, dan Nilai *crisp* yang dihasilkan terdapat pada suhu dan kelembapan dengan parameter yang ditentukan. Berikut tahapan logika *fuzzy* untuk menentukan nilai *crisp* seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Tahapan Logika *Fuzzy*.

Berdasarkan Gambar 3.6 terdapat proses fuzzifikasi yang terdapat fungsi keanggotaan pada setiap *variabel set point* yang ditentukan. Setiap variabel memiliki fungsi keanggotaan yang berbeda-beda.

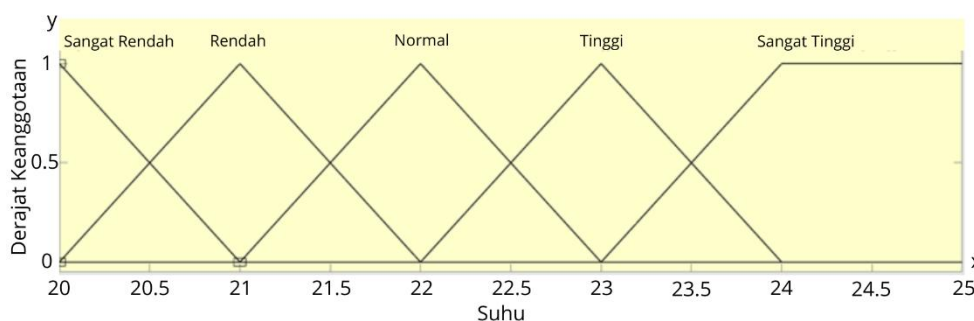
3.6 Menentukan Nilai Variabel

Pada tahap perancangan metode logika *fuzzy* untuk menentukan tingkat keakurasian sistem pendingin. Dimulai dengan *input* nilai variabel input dengan parameter nilai suhu, dan kelembaban. Nilai variabel *output* berupa tingkat keakurasian sistem pendingin berdasarkan Analisa pada penelitian ini.

3.6.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai *input* tegas (*crisp*) menjadi nilai masukan *fuzzy*. Pada tahap fuzzifikasi ada dua nilai *crisp* dari sistem pendingin untuk menentukan keanggotaan dari masing – masing nilai *input* dan *output*. Dari tahap proses fuzzifikasi menentukan fungsi keanggotaan variabel *input* dan variabel *output*, untuk penelitian ini memiliki 2 variabel *input* dan 2 variabel *output*. Untuk himpunan variabel *input* suhu meliputi sangat rendah, rendah, normal, tinggi, sangat tinggi, untuk himpunan variabel *input* kelembaban meliputi kering, normal, dan basah, Nilai variabel *input* suhu memiliki rentang nilai 20 - 25 °C, nilai 20°C merupakan nilai minimum dan nilai 25°C merupakan nilai maksimum. Nilai variabel *input* kelembaban memiliki rentang 15 – 85 %, nilai 15% merupakan nilai minimum dan nilai 85% merupakan nilai maksimum..

Berikut adalah proses fuzzifikasi variabel suhu dan variabel kelembaban, serta grafik fuzzifikasi suhu pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3. 5 Himpunan Variabel Suhu.

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat nilai *input fuzzy* memiliki 5 *membership function* dengan nilai 20°C-21°C keadaan sangat rendah, 20°C-22°C keadaan rendah, 21°C-

23°C keadaan normal, 22°C-24°C keadaan tinggi, dan 23°C- >24°C keadaan sangat tinggi.

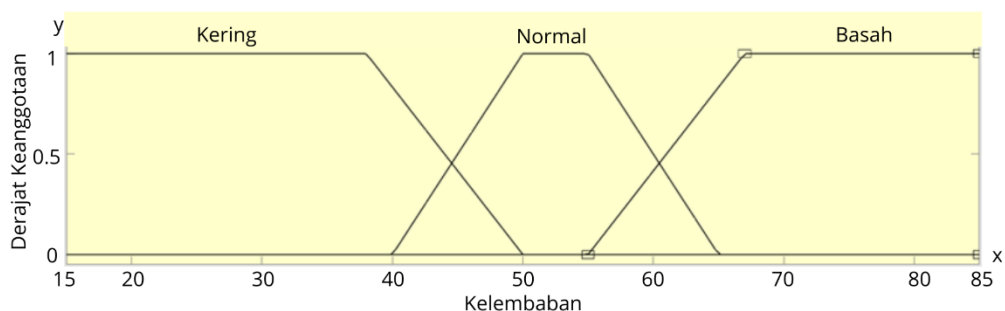
$$\mu_{Sangat\ Rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 20 \\ \frac{21-x}{21-20}, & 20 < x \leq 21 \\ 0, & x \geq 21 \end{cases} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 22 \\ \frac{x-20}{21-20}, & 20 < x \leq 21 \\ \frac{22-x}{22-21}, & 21 < x < 22 \\ 1, & x = 21 \end{cases} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 21 \text{ atau } x \geq 23 \\ \frac{x-21}{22-21}, & 21 < x \leq 22 \\ \frac{23-x}{23-22}, & 22 < x < 23 \\ 1, & x = 22 \end{cases} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 22 \text{ atau } x \geq 24 \\ \frac{x-22}{23-22}, & 22 < x \leq 23 \\ \frac{24-x}{24-23}, & 23 < x < 24 \\ 1, & x = 23 \end{cases} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 23 \\ \frac{x-23}{24-23}, & 23 < x \leq 24 \\ 1, & x \geq 24 \end{cases} \dots\dots\dots(3.5)$$



Gambar 3. 6 Himpunan Variabel Kelembaban.

Pada Gambar 3.6 dapat dilihat nilai *input fuzzy* memiliki 3 *membership function* dengan nilai 15%-50% keadaan kering, 40%-65% keadaan normal, dan 55%-85% keadaan basah.

$$\mu_{Kering}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 38 \\ \frac{50-x}{50-38}, & 38 \leq x \leq 50 \\ 0, & x \geq 50 \end{cases} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 40 \text{ atau } x \geq 65 \\ \frac{x-40}{50-40}, & ; 40 \leq x \leq 50 \\ 1 & ; 50 \leq x \leq 55 \\ \frac{65-x}{65-55}, & ; 55 \leq x \leq 65 \end{cases} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\mu_{Basah}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 67 \\ \frac{x-55}{67-55}, & ; 55 \leq x \leq 67 \\ 0, & ; x \leq 55 \end{cases} \dots\dots\dots(3.8)$$

3.6.2 Interferensi Aturan Fuzzy

Pada pembentukan aturan fuzzy merupakan proses mengubah nilai *fuzzy input* menjadi *output fuzzy* dengan mengikuti aturan – aturan *IF-THEN*. Menghasilkan nilai *fuzzy input*. Nilai masukan tegas pada tahap ini dimasukkan ke dalam fungsi pengaburan yang telah dibentuk sehingga menghasilkan nilai masukan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan variabel *input* dan variabel *output*, untuk penelitian ini memiliki 2 variabel *input* dan 2 variabel *output*. Untuk variabel *input* yaitu nilai suhu, dan kelembaban, dengan setiap variabel *input* memiliki himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* untuk variabel himpunan *input* suhu meliputi sangat rendah, rendah, normal, tinggi, dan sangat tinggi dan untuk variabel himpunan *input* kelembaban meliputi kering, normal, dan basah. Kedua variabel *input* tersebut memiliki fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium. Adapun variabel *input* yang digunakan adalah pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Variabel *Input*.

No.	Jika		Maka		
	Suhu	Kelembaban	Pump	Fan	PWM Target Peltier (%)
1.	Sangat Rendah	Kering	Mati	Mati	1
2.	Sangat Rendah	Normal	Mati	Mati	1
3.	Sangat Rendah	Basah	Mati	Mati	1
4.	Rendah	Kering	Hidup	Hidup	25
5.	Rendah	Normal	Hidup	Hidup	25
6.	Rendah	Basah	Mati	Mati	1
7.	Normal	Kering	Hidup	Hidup	50

No.	Jika		Maka		
	Suhu	Kelembaban	Pump	Fan	PWM Target Peltier (%)
8.	Normal	Normal	Hidup	Hidup	50
9.	Normal	Basah	Mati	Mati	1
10.	Tinggi	Kering	Hidup	Hidup	75
11.	Tinggi	Normal	Hidup	Hidup	75
12.	Tinggi	Basah	Mati	Mati	1
13.	Sangat Tinggi	Kering	Hidup	Hidup	100
14.	Sangat Tinggi	Normal	Hidup	Hidup	100
15.	Sangat Tinggi	Basah	Mati	Mati	1

3.6.3 Defuzzifikasi

Tahap terakhir dalam logika *fuzzy* ialah defuzzifikasi yang dimana variabel *fuzzy* yang diolah pada tahap inferensi akan diubah kembali menjadi nilai *crisp* atau nilai tegas dengan cara mengalikan dengan nilai *output*. Nilai *output* (z) yang ditentukan adalah jika *output* hidup maka 1, jika *output* mati maka 0. Kemudian setelah ditentukannya predikat α dan nilai *output* (z) maka nilai *crisp* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$Crisp = \frac{Total\ Tertimbang}{Total\ Bobot}$$

$$Crisp = \frac{\sum_{i=1}^{15} (Z_i \times \alpha_i)}{\sum_{i=1}^{15} \alpha_i} \dots \dots \dots (3.9)$$

Apabila nilai tegas (*Crisp*) sudah ditentukan maka akan kembali pada klasifikasi nilai *output* dengan nilai 1 (hidup) dan 0 (mati) dan menggunakan persentase (%) PWM.

3.7 Pengujian Alat

Adapun pengujian alat terdapat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3. 3 Pengujian Alat

Pengujian	Fungsi Pengujian	Indikasi Keberhasilan
Deteksi Suhu	Menguji kemampuan sensor DHT22 dalam membaca nilai suhu	Sensor berhasil membaca dan menampilkan data suhu yang akurat.
Deteksi Kelembaban	Menguji kemampuan sensor DHT22 dalam membaca nilai kelembaban	Sensor berhasil membaca dan menampilkan data kelembaban yang akurat.

Pengujian	Fungsi Pengujian	Indikasi Keberhasilan
Keakuratan Logika <i>Fuzzy</i>	Memastikan logika <i>fuzzy</i> dapat menghasilkan keluaran optimal berdasarkan <i>input</i> suhu dan kelembaban.	Sistem dapat mengontrol kipas, pompa, dan tegangan peltier sesuai dengan <i>rule base</i> logika <i>fuzzy</i>
Pengujian Efek Modul Peltier TEC12706	Mengukur efek modul Peltier terhadap suhu dan kelembaban di dalam <i>box</i> .	Terjadi penurunan suhu dan peningkatan kelembaban yang signifikan di dalam kotak setelah modul peltier diaktifkan.
Pengujian <i>Driver</i> BTS2970	Mengukur fungsi <i>driver</i> sebagai pengatur tegangan yang dialirkan ke modul Peltier.	Tegangan yang keluar dari <i>driver</i> dapat diatur sesuai dengan nilai PWM yang diberikan oleh mikrokontroler.
Pengujian MQTT dan <i>Node-Red</i>	Menguji koneksi dan pengiriman data secara <i>real-time</i> dari mikrokontroler ke <i>broker</i> MQTT dan dari <i>broker</i> ke <i>dashboard Node-Red</i> .	Data suhu, kelembaban, dan status <i>output</i> berhasil terkirim dan ditampilkan secara <i>real-time</i> di <i>dashboard Node-Red</i> .

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut.

1. Sistem pendingin untuk komponen elektrik pada kapal tanpa awak telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sebagai sebuah kesatuan yang utuh, menunjukkan sinergi antara modul Peltier TEC12706 (dikontrol oleh *driver* BTS7960), *relay* untuk kendali kipas dan pompa, serta sensor DHT22. Kinerja keseluruhan sistem diatur secara otomatis dan adaptif oleh logika *fuzzy* Sugeno , yang terbukti mampu mengontrol suhu dan kelembaban di dalam kotak. Hal ini teruji pada pengujian sistem keseluruhan dengan perlakuan netralisir, di mana sistem secara otomatis menyesuaikan persentase PWM Peltier dari 100% hingga 1.18% seiring suhu mendekati *set point*. Peltier juga secara otomatis beralih 50.2% ke 25.1% berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban, seperti yang diamati pada suhu 21.5°C dan kelembaban 45.7% ke suhu 21.2°C dan kelembaban 52.1% (pada percobaan 1) lalu suhu 21.9°C dan kelembaban 38.6% ke suhu 21.2°C dan kelembaban 46.2% (pada percobaan 2), di mana kipas dan pompa tetap *ON*.
2. Sistem *Internet of Things* telah berhasil diimplementasikan untuk pemantauan data secara *real-time*. Dimana, data suhu, kelembaban, serta status *output* sistem pendingin (Peltier, status *Fan* dan *Pump*) berhasil dikirimkan dari ESP32 melalui protokol MQTT dan ditampilkan secara akurat pada *dashboard Node-Red*. Pengujian pengiriman data menunjukkan konsistensi waktu (0 detik selisih) antara mikrokontroler, MQTT, dan *Node-RED*, menunjukkan keandalan komunikasi IoT.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, terdapat saran yang bisa dikembangkan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut

1. Dapat mengubah *set point* suhu dan kelembaban yang digunakan pada logika *fuzzy*, tentu saja dengan tetap mempertimbangkan batas aman untuk komponen elektrik. Tujuannya adalah agar sistem pendingin tidak selalu bekerja terlalu keras, sehingga mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang usia pakai komponen. Ini juga akan membuat sistem lebih fleksibel beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang mungkin tidak memerlukan pendinginan ekstrem.
2. Dapat mengganti penggunaan MQTT *server* lokal dengan *server* berbasis *cloud*. Keuntungan utama dari pergantian server ini adalah peningkatan jangkauan pemantauan data secara global, tidak terbatas pada jaringan lokal di area pengujian. Dengan *server cloud*, data sensor dan status *output* sistem dapat diakses dan dipantau dari lokasi manapun yang memiliki koneksi internet, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan kapabilitas *real-time monitoring* untuk aplikasi kapal tanpa awak yang beroperasi di wilayah yang luas.
3. Dapat menyatukan mikrokontrol ESP32 yang digunakan pada sistem pendingin dengan Mappi32 yang digunakan pada sistem pendeteksi kondisi air tambak. Untuk memperluas jarak pemantauan jarak jauh karena mikrokontrol yang digunakan pada sistem pendeteksi kondisi air tambak sudah memiliki modul LoRa sedangkan ESP32 tidak memiliki modul LoRa yang dapat meningkatkan jarak pemantauan.
4. Dapat menambahkan *fan exhaust* untuk mengurangi nilai kelembaban di dalam *box*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditya Putra Mahendra, Sri Mulyanto Herlambang, & Prima Yudha Yudianto. (2024). Rancang Bangun Sistem *Monitoring Kinerja Main Engine Kapal Berbasis IoT*. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, vol. 2, no. 4, pp. 139–159.
- [2] S. Triyono, H. Muchtar, & W. Sudarwati. (2024). Perancangan Pendingin Minuman *Portable* Menggunakan Efek Peltier Berbasis Raspberry-Pi. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 7(1), 73-76
- [3] Hanif, A., & Amri, R. (2023). Implementasi *Internet of Things* Pada Protokol MQTT dan HTTP Dalam Sistem Pendeteksi Banjir. *INOVTEK Polbeng-Seri Informatika*, 8(2), 498-501.
- [4] Afshari, F., Afshari, F., Ceylan, M., & Ceviz, M. A. (2020). *A Review Study on Peltier Cooling Devices; Applications and Performance*. In *Proceedings on 3rd International Conference on Technology and Science*.
- [5] Fadillah, I. H. (2023). Rancang Bangun Pengontrol *Suhu Blood Carrier Box* Menggunakan Elemen Peltier dan Sensor DS18B20 Berbasis IoT (*Internet of Things*). (Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung).
- [6] Simanjuntak, R. C. D., Alia, D., Nurdiansari, H., & Kusumawati, E. (2024). Rancang Bangun *Cooler Box Portable* Menggunakan Peltier. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 3(4), 24-48.
- [7] Umboh, R., Wuwung, J. O., Allo, E. K., & Narasiang, B. S. (2012). Perancangan Alat Pendinginan *Portable* Menggunakan Elemen Peltier. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 1(3).

- [8] Ikhlusal Amal, A., & Achmadiah, M. N. (2023). Perancangan *Smart Food Box* Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Berbasis *Internet of Things* (IoT). *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 10(3), 292-299.
- [9] Khalifa, A. A. M., & Prawiroredjo, K. (2022). Model Sistem Pengendalian Suhu dan Kelembaban Ruangan Produksi Obat Berbasis NodeMCU ESP32. *Jurnal ELTIKOM: Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer*, 6(1), 13-25.
- [10] Setiawan, R. B., Pradana, P. A., Fattah, M. A., & Khairudin, K. (2021). *Portable Generator Thermoelectric* Termonitoring IoT sebagai Pembangkit Termal di Daerah 3T (Terdepan, Terluar dan Tertinggal). *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 15(1), 54-57.
- [11] Purwiyanti, S., & Setyawan, F. A. (2017). Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Penghangat dan Pendingin Berbasis Mikroprosesor Arduino Uno. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 11(3), 99-104.
- [12] Muliadi, M., Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 73-79.
- [13] PENS, P. (2019). Modul 1 Pengenalan ESP32 Board. *MK Internet of Things*, 6, 1-16.
- [14] Abdulrazzak, I. A., Bierk, H., & Aday, L. A. (2018). *Humidity and Temperature Monitoring*. *Int. J. Eng. Technol*, 7(4), 5174-5177.
- [15] Rojikin, I., & Gata, W. (2019). Pemanfaatan Sensor Suhu DHT-22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan *Notifikasi Email*. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 3(3), 544-551.
- [16] Liu, T. (2013). *Digital-Output Relative Humidity & Temperature Sensor/Module DHT22 (DHT22 Also Named As AM2302)*. Aosong Electronics Co., Ltd.
- [17] Faturrohman, W. (2023). Implementasi *Project Based Learning* Merancang *Mini Box Cooler* Dalam Materi Pemanasan *Global* Kurikulum

- Merdeka. *Strategy: Jurnal Inovasi Strategi dan Model Pembelajaran*, 3(2), 146-155.
- [18] Maulidin, M. N., Hariyadi, S., & Wiguna, I. W. Y. M. (2021). Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya Menggunakan Kendali Air Otomatis Untuk Menurunkan Rugi Rugi Daya Berbasis Arduino *Via* Android. *In Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)* (Vol. 5).
- [19] Setyawan, I., & Suprianto, B. (2019). Rancang Bangun *Prototype Solar Cell Buck Boost Converter* Menggunakan Kontrol *Fuzzy* Diimplementasikan pada Aerator Tambak Udang. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(3).
- [20] Ranggh, D., & Kusumaningrum, A. (2016). Penggunaan *Buck Boost Converter* pada Sistem *Battery Charging* Terkendali Mikrokontroler Bersumber *Solar Cell*. *Jurnal Ilmiah (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember)*.
- [21] Hamdani, R., Puspita, H., & Wildan, D. R. (2019). Pembuatan Sistem Pengamanan Kendaraan Bermotor Berbasis *Radio Frequency Identification* (RFID). *INDEPT: Jurnal Industri, Elektro dan Penerbangan*, 8(2).
- [22] Hilal, Y. N., Muliandhi, P., & Ardina, E. N. (2023). Analisa *Balancing Bms* (Battery Management System) pada Pengisian Baterai *Lithium-Ion* Tipe Inr 18650 Dengan Metode *Cut Off*. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 14(2), 367-374
- [23] Fauziah, N., Munazilin, A., & Santoso, F. (2024). Rancang Bangun Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1464-1473.
- [24] Pawawoi, A., & Zulfahmi, Z. (2019). Penambahan Sistem Pendingin Heatsink Untuk Optimasi Penggunaan Reflektor pada Panel Surya. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 1-7.
- [25] Situmeang, D., & Syuhada, A. (2013). Kaji Sistem Peralatan Penyerap Kalor pada Kotak Penyimpan. *Jurnal Teknik Mesin*, 1 (3), 111-118.

- [26] Nur, M. I., & Aryanto, M. (2020). *Pengembangan Prototipe Robot Pengaduk pada Proses Pengeringan Gabah Menggunakan Tenaga Surya Berbasis Internet of Things* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Ujung Pandang).
- [27] Fauziah, N., Munazilin, A., & Santoso, F. (2024). Rancang Bangun Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1464-1473.
- [28] Meimaharani, R., & Listyorini, T. (2014). Analisis Sistem *Inference Fuzzy* Sugeno Dalam Menentukan Harga Penjualan Tanah Untuk Pembangunan Minimarket. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 5(1), 89-96.
- [29] Tashan, W., Shayea, I., Aldirmaz-Colak, S., El-Saleh, A. A., & Arslan, H. (2024). *Optimal Handover Optimization In Future Mobile Heterogeneous Network Using Integrated Weighted And Fuzzy Logic Models*. *IEEE Access*. 57082-57102.
- [30] D Ansarullah, D., & Nurwarsito, H. (2022). Monitoring Kualitas Air pada Tambak Udang berbasis *Internet of Things* dengan Protokol Komunikasi ZigBee. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(2), 615-624.
- [31] Setiadi, D., & Muhaemin, M. N. A. (2018). Penerapan *Internet Of Things* (IoT) Pada Sistem Monitoring Irigasi (*Smart Irigasi*). *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 3(2), 95-102.