ANALISIS SMART COOLSTORAGE PORTABLE BERBASIS INTERNET OF THINGS TERHADAP OPTIMALISASI KUALITAS PENYIMPANAN IKAN SEGAR MELALUI MONITORING REAL-TIME MENGGUNAKAN ESP32 DAN PLATFORM THINGER.IO

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

MUHAMMAD FAHRURROZI NASUTION

2109020121



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2026

ANALISIS SMART COOLSTORAGE PORTABLE BERBASIS INTERNET OF THINGS TERHADAP OPTIMALISASI KUALITAS PENYIMPANAN IKAN SEGAR MELALUI MONITORING REAL-TIME MENGGUNAKAN ESP32 DAN PLATFORM THINGER.IO

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kosm) dalam Program Studi Teknologi Informasi. pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

MUHAMAD FAHRUROZI NASUTION
2109020121

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	:	Analisis Smart Coolstorage Portable Berbasis Internet Of Things Terhadap Optimalisasi Kualitas Penyimpanan Ikan Segar Melalui Monitoring Real-Time Menggunakan Esp32 Dan Platform Thinger.Io
Nama Mahasiswa	:	Muhammad Fahrurrozi Nasution
NPM	:	2109020121
Program Studi	:	Teknologi Informasi

Menyetujui,

Komisi Pembimbing

(Halim Maulana, S.T., M.Kom)
NIDN. 0121119102

Ketua Program Studi

Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)
NIDN. 0117019301

Dekan

(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom)
NIDN. 012709920

PERNYATAAN ORISINALITAS

Analisis Smart Coolstorage Portable Berbasis Internet Of Things Terhadap Optimalisasi Kualitas Penyimpanan Ikan Segar Melalui Monitoring Real-Time Menggunakan Esp32 Dan Platform Thinger.Io

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 14 April 2026

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Fahrurrozi Nasution
NPM.2109020121

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Muhammad Fahrurrozi Nasution
NPM	2109020121
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif (Non-Exclusive Royalty free Right) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

Analisis Smart Coolstorage Portable Berbasis Internet Of Things Terhadap Optimalisasi Kualitas Penyimpanan Ikan Segar Melalui Monitoring Real-Time Menggunakan Esp32 Dan Platform Thinger.Io

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya .

Medan, 14 April 2026

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Fahrurrozi Nasution
NPM.2109020121

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: Muhammad Fahrurrozi Nasution
Tempat dan Tanggal Lahir	: Medan, 11 April 2003
Alamat Rumah	: Jalan Raya Menteng Gg Prisai Pribumi 1 No.19 Kota Medan, Kecamatan Medan Denai, Kelurahan Binjai
Telepon/Faks/HP	081378567374
E-mail	: rozi36838@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD : SD SWASTA PADAMU NEGERI MEDAN	TAMAT: 2015
SMP : SMP SWASTA MUHAMMADIYAH 1 MEDAN	TAMAT: 2018
SMA : SMA NEGERI 5 KOTA MEDAN	TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum.wr.wb

Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd. Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Prof. Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom,. M.Kom Wakil Dekan 1 Program Studi Teknologi Informasi
4. Bapak Mhd. Basri, S.Kom,. M.Kom Wakil Dekan III Program Studi Teknologi Informasi
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom Ketua Program Studi Teknologi Informasi
6. Bapak Okvi Nugroho, S.Kom.,M.Kom Sekretaris Program Studi Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi
7. Bapak Halim Maulana, S.T.,M.KOM selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah memberikan waktu, bimbingan, motivasi, dan arahan secara sabar serta penuh dedikasi selama proses penyusunan skripsi ini. Setiap masukan dan koreksi yang diberikan sangat berharga bagi penyempurnaan karya ilmiah ini.
8. Seluruh Bapak/Ibu dosen di Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi yang telah membantu dan memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
9. Teruntuk kedua orang tua tercintaku, cinta pertama dan panutanku, Ayahanda Paimin S.PD dan Ibunda Siti Habiba,S.H sebagai tanda bakti dan

rasa terimakasih yang tiada terhingga ku persembahkan karya kecil ini.

10. Kepada Ayah dan Ibu yang telah memberikan kasih sayang dan segala dukungan, yang tiada. Penulis menyadari bahwa hingga detik ini, belum mampu memberikan lebih dari ini, belum mampu membalas atas semua yang telah Ayah dan Ibu korbankan. Namun, penulis berharap karya ini dapat menjadi bukti kecil dari niat dan tekad untuk terus berusaha membanggakan Ayah dan Ibu. Teruntuk kedua orang tuaku sekali lagi terimakasih yang tak terhingga untuk segala pengorbanan baik secara material maupun non-material. Semoga Ayah dan Ibu selalu diberikan kebahagiaan, kesehatan dan keberkahan sepanjang hayat
11. Seluruh Keluarga Penulis yang sudah memberikan motivasi dan dukungan bagi penulis untuk menyelesaikan penyusunan skripsi.
12. Teruntuk pasanganku Siti Aisyah yang selalu menjadi motivasi dan penguat hati, terima kasih atas doa, dukungan, dan semangat tanpa henti selama proses penyusunan skripsi ini. Kehadiranmu menjadi kekuatan besar yang membuat penulis mampu menyelesaikan penelitian ini. Skripsi ini juga kupersembahkan untukmu.
13. Sahabat Aidil Baqirrahman Nasution orang yang lebih dari sekedar teman.Terimakasih atas dukungannya yang tanpa henti, baik dalam bentuk kata-kata penyemangat, kehadiran yang menenangkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan setiap tahap perjalanan ini dengan lebih kuat.
14. Beberapa orang yang Bernama Oza, Afrik, Wak Gor, Gareng, M.RizkiAdhari,Aidil Baqirrahman Nst, Fahriza Sinuraya, Rosaldi Alfarizi yang tak kalah penting kehadirannya, yang selalu membuat saya senang, menghibur, dan mendengarkan keluh kesah, serta memberikan semangat yang tiada henti sampai saat ini.

Medan, 14 April 2026

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Fahrurrozi Nasution
NPM.2109020121

ABSTRAK

Ketidakonsistenan penerapan rantai dingin (*cold chain*) di pasar tradisional menyebabkan ikan segar mudah mengalami penurunan kualitas akibat suhu penyimpanan yang tidak terkontrol. Penelitian ini merancang dan membangun prototipe *Smart Coolstorage* portabel berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengoptimalkan kualitas penyimpanan ikan segar melalui pemantauan parameter lingkungan secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses pusat, sensor SHT30-D untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sensor DS18B20 *waterproof* untuk mengukur suhu internal ikan, serta modul Peltier TEC1-12706 sebagai sistem pendinginan aktif yang dikendalikan melalui *Solid State Relay* (SSR) 50A. Data sensor ditransmisikan secara nirkabel ke platform IoT Thinger.io untuk divisualisasikan pada *dashboard* interaktif dan memicu notifikasi peringatan dini (*alert*) apabila parameter melampaui ambang batas kritis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan suhu dari 28,5°C menuju 0,5°C dengan laju pendinginan sebesar 0,635°C/menit, menciptakan kondisi bakteriostatik yang efektif di dalam zona ideal 0°C–4°C. Akurasi sensor SHT30-D menghasilkan persentase kesalahan sebesar 2,94%, sedangkan sensor DS18B20 mencatat selisih pembacaan hanya 0,1°C terhadap termometer referensi. Sinkronisasi data antara perangkat keras dan platform *cloud* berjalan stabil dengan latensi rata-rata 1,3 detik. Logika *hysteresis* otomatis pada rentang 1,0°C–4,0°C terbukti menjaga stabilitas termal sekaligus mengoptimalkan konsumsi daya baterai VRLA 25Ah. Sistem ini memberikan solusi pengawetan ikan yang portabel, terjangkau, dan berbasis teknologi untuk mendukung peningkatan ketahanan pangan di tingkat distribusi hilir.

Kata Kunci: ***Smart Coolstorage, Internet of Things,* ESP32, Termoelektrik, Thinger.io, Monitoring *Real-Time*, Kualitas Ikan Segar.**

ABSTRACT

The inconsistent application of cold chain management at traditional markets causes fresh fish to rapidly deteriorate due to uncontrolled storage temperatures. This research designs and develops a portable IoT-based Smart Coolstorage prototype to optimize fresh fish storage quality through real-time environmental parameter monitoring. The system integrates an ESP32 microcontroller as the central processing unit, an SHT30-D sensor for measuring air temperature and humidity, a waterproof DS18B20 sensor for monitoring the internal temperature of fish, and a Peltier TEC1-12706 module as an active cooling system controlled via a 50A Solid State Relay (SSR). Sensor data is wirelessly transmitted to the Thinger.io IoT platform for visualization on an interactive dashboard, which also triggers early warning notifications when parameters exceed critical thresholds. Test results demonstrate that the system successfully reduced the internal temperature from 28.5°C to 0.5°C at a cooling rate of 0.635°C/minute, effectively establishing bacteriostatic conditions within the ideal storage zone of 0°C–4°C. The SHT30-D sensor achieved a measurement error of 2.94%, while the DS18B20 sensor recorded a deviation of only 0.1°C against a reference thermometer. Data synchronization between the hardware and the cloud platform remained stable with an average latency of 1.3 seconds. The automated hysteresis logic operating within the 1.0°C–4.0°C range proved effective in maintaining thermal stability while optimizing power consumption from the 25Ah VRLA battery. This system provides a portable, affordable, and technology-driven fish preservation solution to support improved food security at the downstream distribution level.

Keywords: ***Smart Coolstorage, Internet of Things, ESP32, Thermoelectric, Thinger.io, Real-Time Monitoring, Fresh Fish Quality.***

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **i**
PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **ii**
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ..... **iii**
RIWAYAT HIDUP ..... **iv**
KATA PENGANTAR ..... **v**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3. Batasan Masalah 5
1.4. Tujuan Penelitian 6
1.5. Manfaat Penelitian 7
BAB 2 LANDASAN TEORI **8**
2.1 Internet of Things (IoT) 8
2.1.1 Definisi Internet of Things 8
2.1.2 Definisi Internet of Things 9
2.1.3. Arsitektur Internet of Things (IoT) 12
2.2. Coolstorage 13
2.2.1 Urgensi Coolstorage dalam Sektor Perikanan 15
2.2.2 Standar Suhu dan Parameter Kualitas Ikan 16
2.3. Termoelektrik Cooler 17
2.3.1. Prinsip Kerja Termoelektrik 18
2.3.2. Parameter Penggunaan Modul Termoelektrik 19
2.3.3. Sistem Pendinginan Sisi Panas Modul Termoelektrik 20
2.4 Sistem Catu Daya (Powering System) 20
2.4.1 Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid) 21
2.4.2 Analisis Teknis SSR (Solid State Relay) 50A 23
2.4.3 Instrumen Monitoring dan Proteksi Daya 24
2.5. Arsitektur Perangkat Keras dan Integrasi Elektronik 26
2.5.1 NodeMCU Modul WIFI ESP32 26
2.5.2 Smartphone 29
2.5.3. Unit Pendingin Termoelektrik (Peltier TEC1-12706) 30

2.5.4 Sensor Suhu dan Kelembapan SHT30-D 31
2.5.5 Sensor Suhu Waterproof DS18B20 32
2.5.6 Sensor Gas Amonia (MQ-137) 33
2.5.7 LCD (Liquid Crystal Display) 34
2.6. Pengembangan Logika Program dan Ekosistem IoT 36
2.6.1. Thinger.io 36
2.6.2 Arduino IDE (Integrated Development Environment) 37
2.7. Pendingin 39
2.7.1 Es Batu 39
2.7.2 Ice Gel 40
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 42
3.1 Jenis Penelitian 42
3.2 Lokasi Dan Jadwal Penelitian 43
3.2.1 Lokasi Penelitian 43
3.2.2 Jadwal Penelitian 44
3.3 Tahapan penelitian 45
3.4 Perancangan Sistem 48
3.4.1 Wireing Diagram Sistem 48
3.4.2 Perancangan Alat / Design 3d 50
3.5 Perancangan Antarmuka (Interface) 52
3.5.1 Perancangan Antarmuka Pengguna (User Interface - Mobile/Web) 52
3.5.2 Perancangan Antarmuka Perangkat Keras 53
3.6 Diagram Alir Penelitian 54
3.7 Teknik Analisis Data 56
3.7.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor 56
3.7.2 Analisis Waktu Respon (*Response Time*) 56
3.7.3 Analisis Konektivitas dan Sinkronisasi Data 57
3.7.4 Penarikan Kesimpulan analisa data 57
3.8 Uji Validitas dan Reliabilitas Sistem 57
3.8.1 Uji Validitas (Akurasi) 57
3.8.2 Uji Reliabilitas (Konsistensi) 58
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 60
4.1 Realisasi Sistem Smart Coolstorage Portabel 60
4.1.1 Integrasi Perangkat Keras 60
4.1.2 Realisasi Arsitektur Jaringan dan Visualisasi Data pada Platform Cloud dan Desktop 61
4.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor (Validasi Data) 64

4.2.1 Tahap Pengujian Alat 64
4.2.2 Implementasi Sistem Pendinginan Aktif Termoelektrik 66
4.2.3 Implementasi Arsitektur Jaringan dan Visualisasi Data pada Platform Thinger.io 67
4.3 Pengujian dan Kalibrasi Sensor (Validasi Data) 70
4.3.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor Termal 70
4.3.2 Analisis Konektivitas dan Sinkronisasi Data Riil 71
4.4 Analisis Kinerja Sistem Pendingin Termoelektrik 72
4.4.1 Analisis Kecepatan Respon Pendinginan (*Pull-down Time*) 72
4.4.2 Karakteristik Penurunan Suhu dan Stabilitas Termal 73
4.4.3 Implementasi Logika Automatisasi (Hysteresis) 74
4.5 Analisis Optimalisasi Kualitas Ikan Tongkol Melalui Monitoring Terintegrasi 75
4.5.1 Analisis Efektivitas Bakteriostatik 75
4.5.2 Validasi Sistem Monitoring dan Peringatan Dini 77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 78
5.1 Kesimpulan 78
5.2 Saran 78
DAFTAR PUSTAKA 80

DAFTAR TABEL

Tabel 1.Parameter Ideal Yang Menjadi Acuan Dalam Sistem Pemantauan *Coolstorage* 16

Tabel 2. Spesifikasi Node MCU ESP32 28

Tabel 3. Jadwal Penelitian 45

Tabel 4. Hasil Verifikasi Aliran Data dan Sinkronisasi Antarmuka 64

Tabel 5.Pin Konfigurasi Sensor Ke Microkontroller 65

Tabel 6. Pin Konfigurasi Sensor Ke Microkontroller 67

Tabel 7. Konektivitas dan Sinkronisasi Data Riil 72

Tabel 8. Karakteristik Penurunan Suhu dan Stabilitas Termal 73

Tabel 9. Validasi Sistem Monitoring dan Peringatan Dini 77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Three-Tier Architecture 12
Gambar 2.2. Coolstorage 14
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik 18
Gambar 2.4 Baterai VRLA 21
Gambar 2.5 Baterai VRLA 23
Gambar 2.6. *Volt Meter and ammeter* 24
Gambar 2.7 *Rocker Switch* 25
Gambar 2.8 Kabel Awg 26
Gambar 2.9 Bentuk Fisik NodeMCU ESP32 27
Gambar 2.10 ESP32 pin i/o 27
Gambar 2.11 Pemetaan Pin ESP-32 28
Gambar 2.12 Unit Peltier Cooling System Kit TEC1-12706 30
Gambar 2.13 Sensor SHT30-D dengan Pelindung (Housing) 31
Gambar 2.14 Sensor SHT30-D dengan Pelindung (Housing) 32
Gambar 2.15 MQ-137) 33
Gambar 2.16 LCD 16 x 2 35
Gambar 2.17 Thinger Io 36
Gambar 2.18 Arduino IDE 38
Gambar 2.19 Es Batu 40
Gambar 2.20 Ice Gel Pack 41
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan penelitian 46
Gambar 3.2 Wiring Diagram 48
Gambar 3.3 Desain 3D Prototipe Smart Coolstorage 50
Gambar 3.4 Dashboard Menggunakan Thinger IO 52
Gambar 3.5 RancanganTata Letak pada LCD 53
Gambar 3.6 Diagram Sistem kerja Alat 54
Gambar 4.1 Instalasi Mikrocontroller ke box panel 60
Gambar 4.2 Tampilan Dashbord 63
Gambar 4.3 Posisi Penempatan Sensor Di Dalam Box 65
Gambar 4.4 Posisi Penempatan Peltier TEC1-12706 Dan Panel Box 66
Gambar 4.5 Dashbord Menampilkan Sistem Alert 69
Gambar 4.6 Penempatan Sensor DS18B20 pada Media Ikan Tongkol untuk Validasi Akurasi 70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Masalah inti dalam rantai distribusi perikanan di pasar tradisional adalah kondisi penyimpanan ikan yang tidak terkontrol suhunya, sehingga mengakibatkan kualitas ikan menurun dengan sangat cepat. Hal ini menjadi tantangan serius mengingat Indonesia merupakan produsen perikanan yang besar, di mana pada tahun 2022 produksi global mencapai rekor 223,2 juta ton dan sektor ini menyerap jutaan tenaga kerja di tingkat nasional. Ketidakkonsistenan penerapan *cold chain* di titik distribusi akhir, seperti pasar tradisional, menyebabkan ikan terpapar suhu lingkungan yang tinggi, yang secara langsung mempercepat kerusakan biologis, kimia, dan fisik. Namun, kajian di pasar tradisional menunjukkan penerapan cold chain belum konsisten, sehingga kualitas ikan mudah menurun di titik distribusi terakhir (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas; Kementerian Koordinator Urusan Pangan; Food and Agriculture Organization. 2024).

Selama ini, pedagang di pasar tradisional lazim menggunakan metode konvensional berupa kotak polistirena (*styrofoam*) yang diisi dengan es batu untuk menjaga suhu. Namun, metode ini memiliki keterbatasan yang signifikan. Suhu di dalam wadah tersebut sering kali fluktuatif dan tidak terpantau secara konsisten, terutama saat es mulai mencair akibat pengaruh iklim tropis. Tanpa adanya sistem monitoring, pedagang sering kali terlambat menyadari penurunan kualitas ikan; kerusakan baru diketahui secara visual atau aroma setelah ikan sudah tidak layak

konsumsi. Hal ini mengakibatkan kerugian ekonomi bagi pedagang kecil dan meningkatkan risiko kesehatan bagi konsumen.

Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, diperlukan integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk menciptakan sistem penyimpanan cerdas yang mampu melakukan pemantauan suhu secara *real-time*. Sistem ini tidak hanya berfokus pada suhu, tetapi juga mengintegrasikan deteksi gas amonia. Amonia merupakan indikator kimiawi utama dari proses dekomposisi protein dan aktivitas bakteri pada ikan yang mulai membusuk. Monitoring amonia memberikan nilai tambah karena berfungsi sebagai sistem deteksi dini (*early warning*); perubahan kadar gas ini menandakan adanya reaksi biologis sebelum kerusakan fisik ikan terlihat jelas oleh mata. Integrasi sensor kimiawi ini memungkinkan penilaian kualitas yang lebih akurat dibandingkan hanya mengandalkan parameter suhu saja.

Untuk ikan segar/*chilled*, standar penyimpanan menyarankan pemeliharaan pada suhu sekitar 0 °C guna memperlambat kerusakan biologis, kimia, dan fisik. Sejalan dengan standar tersebut, penggunaan *coolbox* yang dilengkapi dengan sistem termoelektrik telah terbukti efektif sebagai sistem bakteriostatik yang mampu menghambat pertumbuhan mikroba pada ikan (Yudianto & Yudhana, 2022). Sementara itu, produk perikanan beku harus dipertahankan minimal pada suhu −18 sampai −20 °C untuk menjaga mutu selama pengangkutan dan ekspor.

FAO menekankan pentingnya penggunaan es yang cukup dan wadah berinsulasi untuk menurunkan suhu produk hingga mencapai titik leleh es di sekitar 0 °C. Namun, di iklim tropis, keterbatasan wadah sederhana sering kali menyebabkan suhu produk melampaui ambang batas aman, sehingga diperlukan sistem pemantauan suhu pada wadah penyimpanan ikan mini (*mini fish storage*)

berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memastikan kualitas tetap terjaga secara *real-time* (Prayetno et al., 2021).

Keberhasilan proses pendinginan ini sangat bergantung pada efisiensi perangkat pendingin yang digunakan. Penggunaan modul *Thermoelectric Cooler* (TEC) tipe TEC-12706 menawarkan solusi pendinginan aktif yang ringkas dan dapat dioptimalkan performanya melalui manajemen panas yang baik untuk menghindari terbentuknya titik panas (*hotspot*) pada sistem(Pratama and Saraswati, 2023). Integrasi teknologi pendinginan aktif dan sistem monitoring ini diharapkan dapat menekan laju kerusakan ikan secara minimal, terutama pada kondisi lingkungan dengan suhu tinggi.

Penelitian ini mengembangkan prototipe coolstorage portable berbasis Internet of Things (IoT) untuk pemantauan real-time suhu–kelembapan ruang simpan, guna melengkapi praktik icing di pasar dan menutup celah pengendalian mutu harian. Sistem monitoring berbasis IoT pada rantai dingin terbukti meningkatkan visibilitas kondisi, mengurangi susut dan biaya, serta memperbaiki kualitas produk melalui respons yang lebih cepat terhadap deviasi parameter. Integrasi pemantauan terhubung juga selaras dengan agenda pengurangan kehilangan ikan yang diangkat dalam kerangka transformasi nilai rantai akuakultur global terkini (Alquraish, 2025).

Pemilihan sensor suhu dan kelembapan merupakan parameter krusial dalam menjamin validitas data pada sistem monitoring *coolstorage* guna menjaga kesegaran ikan secara optimal. Meskipun sensor DHT22 sering digunakan dalam berbagai proyek monitoring lingkungan karena stabilitas jangka panjangnya, penggunaan sensor SHT30 menawarkan keunggulan teknis yang lebih signifikan

untuk aplikasi penyimpanan dingin yang presisi. Sensor SHT30 memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dan waktu respons yang lebih cepat dalam mendeteksi perubahan parameter termal dibandingkan dengan DHT22, yang sangat penting untuk memastikan ikan tetap berada pada suhu ideal mendekati 0 °C. Selain itu, instrumen pengukuran suhu dan kelembapan yang terintegrasi dengan mikrokontroler saat ini menuntut stabilitas data yang lebih baik, di mana SHT30 menggunakan protokol komunikasi I2C yang lebih tahan terhadap gangguan sinyal dibandingkan protokol *single-wire* pada sensor generasi sebelumnya (Wafa *et al.*, 2023)

Dalam implementasi sistem ini, kebutuhan akan akurasi data dan waktu respons yang cepat menjadi sangat krusial. Mengingat lingkungan penyimpanan ikan memiliki kelembapan yang ekstrem, diperlukan instrumen yang memiliki ketahanan tinggi agar tidak terjadi kegagalan pembacaan data. Penggunaan sensor dengan presisi tinggi dan mikrokontroler yang mampu mengirimkan data secara kontinu ke platform *cloud* akan menjamin stabilitas kondisi penyimpanan tetap berada pada zona ideal 0 °C hingga 4 °C. dengan metode penyimpanan konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis performa sistem pendingin aktif berbasis termoelektrik dalam mempertahankan stabilitas suhu ideal (0 °C – 4 °C) di dalam wadah penyimpanan portabel untuk mencegah kerusakan fisik ikan.Bagaimana mengintegrasikan modul *Thermoelectric Cooler* (Peltier)

TEC-12706 sebagai sistem pendingin aktif yang juga berfungsi sebagai bakteriostatik pada wadah penyimpanan ikan.

2. Bagaimana mengoptimalisasi pendeteksian dini penurunan kualitas ikan melalui integrasi sensor gas amonia (MQ-137) sebagai indikator kimiawi pembusukan protein yang tidak dapat terukur oleh sensor suhu konvensional.
3. Sejauh mana penggunaan sensor SHT30 dan mikrokontroler ESP32 mampu meningkatkan akurasi pemantauan parameter lingkungan di dalam coolstorage dengan kelembapan tinggi guna menghindari kegagalan pembacaan data.
4. Bagaimana efektivitas platform *Internet of Things* (Thinger.io) dalam menyajikan data *real-time* dan memberikan peringatan dini (*alert*) untuk meminimalkan keterlambatan respons terhadap perubahan kondisi penyimpanan di pasar tradisional.

1.3. Batasan Masalah

1. Perangkat penyimpanan yang dirancang bersifat portable dan digunakan untuk pengawetan ikan dalam skala kecil (kapasitas terbatas), tidak ditujukan untuk industri besar.
2. Sistem pemantauan kondisi ruang simpan berfokus pada pengukuran parameter suhu, tingkat kelembapan udara, serta pendeteksian gas amonia sebagai indikator kualitas penyimpanan ikan sebagaimana tercantum dalam judul penelitian.
3. Sensor utama yang digunakan untuk mengambil data parameter lingkungan adalah sensor SHT30 yang memiliki akurasi tinggi serta sensor gas amonia, dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data.

4. Teknologi pendinginan aktif pada alat ini hanya menggunakan modul *Thermoelectric Cooler* (Peltier) tipe TEC-12706 yang dikombinasikan dengan media pendingin tambahan berupa es batu atau *ice gel pack.*
5. Sistem pemantauan jarak jauh dilakukan secara *real-time* melalui platform IoT Thinger.io yang memerlukan koneksi internet stabil agar data dapat diakses melalui perangkat *smartphone* .

1.4. Tujuan Penelitian

1. Merancang dan Membangun Sistem *Coolstorage* Portabel Mengembangkan prototipe penyimpanan ikan yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor SHT30, sensor DS18B20, dan sensor gas amonia (MQ-137) sebagai satu kesatuan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) melalui platform Thinger.io.
2. Menganalisis Kinerja Akurasi dan Respon Sensor Melakukan analisis terhadap tingkat akurasi pembacaan parameter fisik dan kimiawi serta kecepatan waktu respon (*response time*) sistem dalam mendeteksi perubahan kondisi ruang simpan guna memastikan data yang dihasilkan valid dan reliabel.
3. Menganalisis Efektivitas Sistem Pendinginan Aktif dan Peringatan Dini Mengevaluasi kemampuan modul *Thermoelectric Cooler* (Peltier) dalam mempertahankan suhu ideal mendekati 0 °C serta mengukur keberhasilan fitur notifikasi *alert* pada *smartphone* saat parameter kualitas ikan melampaui ambang batas kritis.

4. Menganalisis Optimalisasi Kualitas Penyimpanan Mengkaji sejauh mana integrasi pemantauan gas amonia dan suhu secara *real-time* dapat mengoptimalkan pencegahan pembusukan ikan di pasar tradisional dibandingkan dengan metode penyimpanan konvensional.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Memberikan solusi pengawetan ikan yang portabel, hemat energi, dan terjangkau, khususnya bagi pedagang ikan dipasar tradisional dan pelaku usaha kecil.
2. Menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan instrumen pemantauan suhu dan kelembapan berbasis mikrokontroler ESP32 bagi peneliti selanjutnya di bidang teknologi informasi dan perikanan.
3. Memperluas pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam rantai dingin (*cold chain*) untuk membantu mewujudkan ketahanan pangan dan optimalisasi ekonomi biru di Indonesia.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Internet of Things (IoT)

2.1.1 Definisi Internet of Things

Secara fundamental merupakan sebuah konsep di mana objek fisik memiliki kemampuan untuk terhubung ke jaringan internet guna memproses data secara mandiri. Implementasi IoT yang ideal harus mampu mendeteksi anomali pada aset berharga secara dini dan memberikan respons melalui perangkat yang terhubung secara real-time. Menurut (Tanjung and Maulana, 2024) , penggunaan teknologi IoT memungkinkan masyarakat untuk memantau dan mengontrol perangkat secara otomatis melalui smartphone, yang pada akhirnya memberikan rasa aman serta meningkatkan efisiensi dalam pengawasan aset pribadi.

Menurut (Fuadi *et al.*, 2024), teknologi IoT dalam konteks sistem pemantauan lingkungan merupakan sinergi antara perangkat keras mikrokontroler dengan aplikasi seluler yang memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk memantau kondisi secara praktis dari jarak jauh. IoT mengubah data fisik yang ditangkap oleh sensor di lapangan menjadi informasi digital yang dapat diolah untuk pengambilan keputusan secara cepat. (Pustaka, 2025) IoT adalah konsep teknologi yang memungkinkan objek fisik terhubung dan bertukar data melalui internet . Dalam konteks donasi, perangkat seperti sensor, mikrokontroler, dan aplikasi perpesanan dapat saling terhubung untuk melakukan otomatisasi proses pengumpulan dan pencatatan dana. ESP32 sebagai otak sistem menawarkan konektivitas Wi-Fi yang memadai serta kemampuan mengontrol berbagai perangkat secara simultan.

Lebih lanjut, (Pateriya *et al.*, 2021) menjelaskan bahwa inti dari teknologi IoT terletak pada kemampuannya untuk melakukan deteksi dan pencegahan secara otomatis. Dalam sistem keamanan, IoT tidak hanya sekadar menghubungkan perangkat ke internet, tetapi juga memastikan adanya mekanisme respons otomatis terhadap potensi bahaya yang terdeteksi. Hal ini sejalan dengan prinsip yang dikemukakan oleh (Tanjung, 2025), bahwa implementasi IoT yang ideal harus mampu mendeteksi anomali pada aset berharga secara dini dan memberikan respons melalui perangkat yang terhubung secara *real-time*.

Kehadiran teknologi IoT memungkinkan setiap objek fisik terhubung ke jaringan internet untuk saling bertukar data. Menurut (Syahputra and Maulana, 2025) inovasi pada sistem kontrol otomatis berbasis IoT sangat membantu dalam menyederhanakan tugas manusia melalui mekanisme deteksi dan respons perangkat yang berjalan secara *real-time*

Secara teknis, sebuah sistem dapat dikategorikan sebagai sistem IoT apabila memiliki tiga elemen dasar, yaitu:

1. Identitas unik pada setiap perangkat (seperti alamat IP).
2. Kemampuan pengumpulan data melalui sensor atau perangkat masukan lainnya.
3. Media transmisi (seperti Wi-Fi atau seluler) yang menghubungkan perangkat tersebut ke platform *cloud* untuk pemrosesan informasi lebih lanjut.

2.1.2 Definisi Internet of Things

Arsitektur *Internet of Things* merupakan kerangka kerja yang mendefinisikan hubungan antara komponen fisik dan jaringan digital. Dalam penelitian ini, arsitektur yang digunakan didasarkan pada model tiga lapis (*three-tier architecture*)

yang dioptimalkan melalui ekosistem Arduino Cloud. Menurut (Antad *et al.*, 2025) struktur arsitektur yang terorganisir sangat krusial untuk memastikan deteksi anomali dapat berjalan secara otomatis tanpa kegagalan sistem.

Adapun rincian dari ketiga lapisan arsitektur tersebut adalah sebagai berikut:

1. Lapisan Persepsi (Perception Layer) Lapisan ini merupakan garda terdepan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan fisik di dalam wadah penyimpanan ikan. Komponen utamanya terdiri dari sensor SHT30 (suhu/kelembapan udara), DS18B20 (suhu ikan), dan MQ-137 (gas amonia) yang bertugas mengumpulkan data fisik dan kimiawi. Sebagaimana ditekankan dalam penelitian terbaru, kualitas data pada lapisan persepsi sangat menentukan akurasi seluruh sistem; jika sensor memberikan pembacaan yang presisi mengenai parameter lingkungan, maka analisis preservasi dan deteksi kesegaran produk laut yang dikirimkan ke pengguna akan menjadi lebih valid.
2. Lapisan Jaringan (Network Layer) Lapisan ini bertanggung jawab untuk mentransmisikan data dari lapisan persepsi ke server pusat. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai gateway nirkabel yang menghubungkan perangkat keras ke internet melalui protokol Wi-Fi. Penggunaan protokol komunikasi yang stabil pada lapisan ini memungkinkan pengiriman data secara real-time dari perangkat ke cloud. Efisiensi pada lapisan jaringan ini sangat memengaruhi kemudahan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan coolstorage secara praktis dari jarak jauh tanpa terkendala hambatan fisik.
3. Lapisan Aplikasi (Application Layer) Lapisan ini adalah bagian yang berinteraksi langsung dengan pengguna melalui antarmuka visual. Dalam sistem ini, lapisan aplikasi direpresentasikan oleh dashboard pada platform Thinger.io yang dapat diakses

melalui smartphone atau komputer. Fungsi utamanya adalah memvisualisasikan fluktuasi suhu serta kadar gas amonia, sekaligus memicu notifikasi peringatan jika parameter melampaui ambang batas aman. Efektivitas lapisan aplikasi ini terletak pada kemampuannya menjembatani hambatan jarak antara lokasi penyimpanan ikan dengan pemilik melalui sistem pemantauan yang responsif dan informatif.Prinsip Kerja Real-Time Monitoring dan Latency.

Prinsip kerja pemantauan waktu nyata (*real-time monitoring*) dalam sistem IoT adalah kemampuan sistem untuk memproses dan menyajikan data sensor sesaat setelah data tersebut diambil dari lingkungan fisik. Menurut (Siregar *et al.*, 2024) efektivitas sistem keamanan pada aset berharga sangat bergantung pada kemampuan teknologi dalam memberikan respons cepat terhadap anomali yang terdeteksi. Dalam konteks pengawetan ikan , setiap detik keterlambatan informasi dapat meningkatkan risiko kebusukan yang terjadi pada ikan (Akbary, 2021)

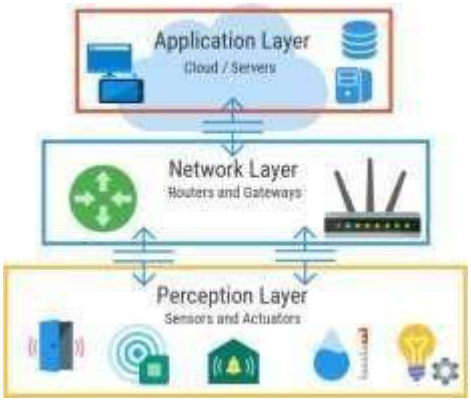
Salah satu parameter krusial dalam pemantauan ini adalah *Latency* (latensi) atau waktu tunda. Latensi dalam sistem IoT didefinisikan sebagai total waktu yang dibutuhkan data untuk bergerak dari sensor, melewati jaringan internet, diproses oleh server *cloud*, hingga akhirnya muncul sebagai notifikasi di *smartphone* pengguna. Beberapa faktor yang memengaruhi latensi antara lain:

1. Kecepatan Jaringan nirkabel (Wi-Fi): Kestabilan koneksi internet di lokasi penempatan alat memengaruhi durasi transmisi data ke *cloud* (Fuadi *et al.*, 2024)
2. Beban Server *Cloud*: Kecepatan platform Arduino Cloud dalam memproses permintaan (*request*) dari perangkat keras.
3. Sinkronisasi Variabel: Penggunaan fitur *automatic update* pada Arduino Cloud yang memastikan data hanya dikirimkan saat terjadi perubahan

signifikan pada nilai sensor, sehingga mengurangi beban lalu lintas data.

2.1.3. Arsitektur Internet of Things (IoT)

Sistem Iot Pada Coolstorage kita ini dirancang menggunakan konsep *Three-Tier Architecture* untuk memastikan aliran data dari lingkungan fisik dapat tersampaikan ke pengguna secara sistematis. Menurut (Sutikno *et al.*, 2023), arsitektur IoT yang ideal harus membagi tugas antara pengambilan data, pengiriman data, dan penyajian data agar sistem memiliki skalabilitas dan keandalan yang tinggi.



Gambar 2.1 Three-Tier Architecture

Adapun ketiga lapisan (*layer*) tersebut dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lapisan Persepsi (Perception Layer): Merupakan lapisan fisik yang berinteraksi langsung dengan lingkungan di dalam wadah penyimpanan ikan. Pada lapisan ini, sensor SHT30-D (suhu dan kelembapan udara), DS18B20 (suhu internal ikan), dan MQ-137 (gas amonia) bertugas menangkap sinyal fisik dan kimiawi. Data analog maupun digital yang ditangkap oleh sensor-sensor tersebut kemudian dikumpulkan dan diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses pusat.

2. Lapisan Jaringan (Network Layer): Berperan sebagai jembatan komunikasi yang mentransmisikan data dari lapisan persepsi menuju media penyimpanan berbasis awan (*cloud*). Pada sistem ini, fitur konektivitas Wi-Fi terintegrasi pada ESP32 mengirimkan data parameter kualitas ikan melalui protokol internet menuju platform Thinger.io. Lapisan ini memastikan sinkronisasi data terjadi secara kontinu sehingga perubahan kondisi suhu di dalam *coolstorage* dapat terkirim secara instan.
3. Lapisan Aplikasi (Application Layer): Adalah lapisan akhir yang berinteraksi langsung dengan pengguna (pedagang atau pengelola logistik ikan). Data yang telah tersimpan di *cloud* akan divisualisasikan dalam bentuk *dashboard* interaktif pada aplikasi Thinger.io di *smartphone* atau komputer. Lapisan ini memungkinkan pengguna untuk memantau fluktuasi suhu dan kadar amonia secara *real-time*, serta menerima notifikasi peringatan jika kondisi penyimpanan melampaui ambang batas standar kesegaran ikan.

2.2. Coolstorage

Coolstorage atau gudang pendingin merupakan suatu ruang atau wadah yang dirancang khusus dengan sistem refrigerasi untuk menjaga suhu lingkungan tetap stabil di bawah suhu atmosfer sekitarnya. Fungsi utamanya adalah menghambat laju kerusakan bahan pangan, khususnya komoditas laut seperti ikan, dengan cara memperlambat aktivitas enzim dan pertumbuhan mikroorganisme pembusuk. Dalam menjaga kualitas produk laut, integrasi teknologi IoT pada sistem *coolstorage* menjadi sangat krusial untuk memastikan stabilitas suhu dan kelembapan secara terus-menerus (Mandal *et al.*, 2025).



Gambar 2.2. Coolstorage

Penggunaan *coolstorage* portabel dalam rantai dingin (*cold chain*) berfungsi untuk mempertahankan kesegaran ikan dari produsen hingga ke konsumen. Implementasi kontrol otomatis pada perangkat pendingin memungkinkan terciptanya kondisi penyimpanan yang presisi, yang sangat diperlukan bagi objek yang sensitif terhadap perubahan termal (Rahadyan, Widyanto and Widiyanto, 2025). Suhu ideal untuk menjaga kesegaran ikan segar umumnya berada di kisaran 0°C hingga 4°C.

Lebih lanjut, efektivitas *coolstorage* saat ini tidak hanya diukur dari kemampuannya mendinginkan suhu udara, tetapi juga dari kemampuannya mendeteksi perubahan kimiawi pada objek yang disimpan. Inovasi terbaru menggabungkan sensor fisik dengan deteksi kimiawi dan algoritma cerdas untuk menganalisis tingkat kesegaran produk laut secara otomatis selama masa preservasi (Kumaravel *et al.*, 2025). Jika suhu melampaui ambang batas, protein pada ikan akan mengalami denaturasi yang memicu timbulnya gas amonia sebagai indikator awal pembusukan, sehingga diperlukan sistem pemantauan yang terintegrasi secara *real-time*.

2.2.1 Urgensi Coolstorage dalam Sektor Perikanan

Coolstorage merupakan komponen vital bagi nelayan dan pedagang ikan karena fungsinya sebagai tempat penyimpanan hasil tangkapan untuk menjaga kualitas produk sebelum didistribusikan kepada konsumen. Keberadaan alat ini berdampak langsung terhadap pendapatan nelayan kecil dengan cara meminimalisir risiko kerugian ekonomi akibat penurunan mutu ikan saat hasil tangkapan melimpah di pasar. Hal ini sangat krusial mengingat sebagian besar nelayan masih menggunakan metode penangkapan konvensional seperti *purse seine* yang operasionalnya sangat bergantung pada kondisi musim.

Dalam praktiknya, efektivitas penyimpanan dingin kini tidak hanya bergantung pada penggunaan media pendingin tradisional seperti es batu, tetapi juga pada sistem pemantauan parameter lingkungan yang cerdas. Berdasarkan tren teknologi terbaru, *coolstorage* yang ideal harus mengintegrasikan sistem pemantauan suhu dan kelembapan relatif secara berkelanjutan untuk menjamin stabilitas kondisi ruang simpan (Mandal et al., 2025). Selain itu, otomatisasi pada kontrol suhu sangat diperlukan untuk mempertahankan kondisi termal yang spesifik bagi komoditas laut yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu (Rahadyan et al., 2025).

Modernisasi *coolstorage* juga diarahkan pada kemampuan analisis preservasi yang lebih mendalam, seperti pendeteksian dini perubahan kimiawi melalui sensor yang mampu mendeteksi tingkat kesegaran secara otomatis (Kumaravel et al., 2025). Untuk mendukung kebutuhan mobilitas pedagang di pasar tradisional, *coolstorage* dirancang dengan berbagai ukuran yang dapat disesuaikan, seperti

prototipe dalam penelitian ini yang memiliki dimensi 62 cm x 38 cm x 36 cm dengan kapasitas daya tampung sebesar 60 liter.

2.2.2 Standar Suhu dan Parameter Kualitas Ikan

Kualitas ikan segar sangat bergantung pada suhu penyimpanan sejak ikan ditangkap hingga sampai ke konsumen, di mana suhu ideal harus dijaga sedekat mungkin dengan titik leleh es yaitu sekitar 0 °C guna memperlambat kerusakan biologis, kimia, dan fisik. Jika suhu tidak terkontrol atau melampaui ambang batas safe zone, protein pada ikan akan mengalami dekomposisi yang memicu pertumbuhan mikroba dan pembentukan gas amonia sebagai indikator pembusukan. Penerapan teknologi IoT saat ini memungkinkan pemantauan parameter tersebut dilakukan secara berkelanjutan untuk menjamin stabilitas kondisi ruang simpan.

Berdasarkan integrasi referensi standar internasional dan penelitian dari(Mandal *et al.*, 2025) , berikut adalah tabel parameter ideal yang menjadi acuan dalam sistem pemantauan *coolstorage* cerdas:

Tabel 1. Parameter Ideal Yang Menjadi Acuan Dalam Sistem Pemantauan *Coolstorage*

NO	Parameter	Nilai Standart	Fungsi Monitoring
1	Suhu udara	0 ℃ – 4 ℃	Menjaga stabilitas termal ruang simpan
2	Suhu produk	< 2 ℃	Menghambat dekomposisi protein langsung
3	Kelembapan	90% – 95% RH	Mencegah dehidrasi daging ikan
4	Gas Amonia	< 10 ppm	Indikator kimiawi tingkat pembusukan

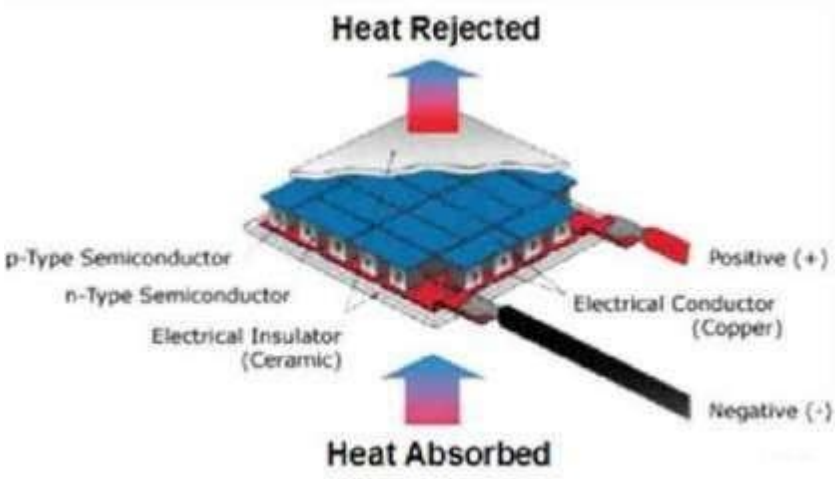
5	pH ikan	6.5 – 6.8	Deteksi dini perubahan kesegaran

2.3. *Termoelektrik Cooler*

Thermoelectric Cooler (TEC) merupakan teknologi pendinginan berbasis semikonduktor yang bekerja dengan memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lainnya melalui aliran arus listrik searah (DC). Berbeda dengan sistem pendingin kompresi uap konvensional, TEC menawarkan solusi pendinginan yang bebas getaran, memiliki dimensi yang fleksibel, dan tidak memerlukan zat refrigeran kimia sehingga jauh lebih ramah lingkungan. Teknologi ini telah mengalami kemajuan pesat, terutama dalam pengembangan material termoelektrik canggih yang memungkinkan aplikasi pendinginan yang lebih efisien dan fleksibel (Ding *et al.*, 2021).

Sistem pendinginan termoelektrik sangat bergantung pada efektivitas material dalam mengonversi energi listrik menjadi perbedaan suhu secara aktif (Mao, Chen and Ren, 2020).Kemampuan ini menjadikan TEC sebagai pilihan ideal untuk perangkat pendingin portabel, seperti wadah penyimpanan ikan, karena keandalannya dalam menjaga stabilitas suhu pada ruang simpan yang sempit tanpa memerlukan komponen mekanis yang rumit. Meskipun memiliki potensi besar, tantangan utama dalam implementasi TEC adalah manajemen panas pada sisi panas modul untuk mempertahankan koefisien performa yang optimal .

2.3.1. Prinsip Kerja Termoelektrik



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik

Ilustrasi di atas menggambarkan pergerakan elektron yang berasal dari semikonduktor tipe-P, yang memiliki tingkat energi lebih rendah. Elektron tersebut menyerap panas dari area yang hendak didinginkan, lalu mengalir menuju semikonduktor tipe-N melalui konduktor penghubung. Pada bagian ini, permukaan dengan suhu Tc akan mengalami penurunan temperatur. Panas yang telah diserap kemudian bergerak melalui semikonduktor seiring dengan aliran elektron menuju sisi panas modul (Th) (Chen *et al.*, 2022). Dalam kondisi ideal, besar panas yang diserap di sisi dingin dan dilepaskan di sisi panas ditentukan oleh nilai koefisien Peltier serta arus listrik yang diberikan. Namun saat modul dijalankan, jumlah panas yang terserap di sisi dingin cenderung menurun akibat dua hal: pertama, panas yang muncul dalam semikonduktor karena perbedaan suhu antara sisi dingin dan panas (disebut panas konduksi), dan kedua, panas Joule, yang nilainya sebanding dengan kuadrat dari arus listrik yang mengalir. Oleh karena itu, dalam setiap kondisi, keseimbangan termal akibat efek Peltier di sisi dingin akan sama dengan total panas konduksi yang terjadi pada semikonduktor ditambah dengan 1½ kali panas (Ding

et al., 2021) Selain bentuknya yang ringkas, modul termoelektrik juga memiliki keunggulan-keunggulan lainnya, antara lain:

1. Tanpa Komponen Bergerak

Modul ini tidak memerlukan bagian mekanis seperti kompresor atau kipas internal untuk bekerja, sehingga lebih tahan lama dan minim perawatan.

2. Ramah Lingkungan

Tidak menggunakan refrigeran atau bahan kimia berbahaya, menjadikannya lebih aman bagi lingkungan dibandingkan sistem kompresi uap tradisional.

3. Dapat Diterapkan dalam Skala Kecil dan Portabel

Cocok digunakan untuk perangkat elektronik kecil, alat medis, pendingin portable, hingga sistem pendingin di lingkungan ekstrem seperti luar angkasa atau militer.

2.3.2. Parameter Penggunaan Modul Termoelektrik

Setiap modul termoelektrik yang digunakan dalam aplikasi pendinginan memiliki sejumlah parameter penggunaan yang berfungsi untuk mengkarakterisasi kinerjanya. Parameter-parameter ini menjadi acuan penting dalam memilih modul termoelektrik yang paling sesuai di antara berbagai jenis modul yang tersedia di pasaran. Adapun beberapa parameter utama yang digunakan sebagai dasar dalam pemilihan modul termoelektrik adalah sebagai berikut:

1. Arus Kerja (Operating Current)

Besarnya arus listrik yang diperlukan agar modul dapat menghasilkan efek pendinginan secara maksimal. Arus ini harus sesuai dengan spesifikasi agar tidak menimbulkan panas berlebih (Joule heating) yang justru mengurangi efisiensi pendinginan.

2. Kapasitas Daya Pendinginan (Qmax)

Jumlah maksimum panas yang dapat dipindahkan oleh modul dari sisi dingin ke sisi panas per satuan waktu. Nilai ini menentukan seberapa besar beban panas yang dapat ditangani oleh modul.

3. Tegangan Kerja (Operating Voltage)

Tegangan maksimum yang dapat diberikan ke modul untuk mencapai performa optimal. Modul termoelektrik umumnya dirancang untuk tegangan tertentu, seperti 12V. Penggunaan tegangan yang tepat akan menjaga efisiensi dan memperpanjang umur pakai modul.

2.3.3. Sistem Pendinginan Sisi Panas Modul Termoelektrik

Sebagai pompa kalor, modul termoelektrik berfungsi untuk menyerap panas dari salah satu sisinya dan memindahkannya ke sisi yang lain. Dalam sistem pendinginan menggunakan modul ini, proses perpindahan kalor tersebut menjadi faktor utama dalam upaya mencapai suhu yang lebih rendah pada sisi dinginnya. Mengandalkan perpindahan panas dari sisi panas secara alami, tanpa bantuan perangkat tambahan, bukanlah solusi yang efektif jika tujuan utama adalah memperoleh suhu yang sangat rendah pada sisi dingin modul termoelektrik (Susilo, N. 2022).

2.4 Sistem Catu Daya (Powering System)

Sistem catu daya merupakan unit penyedia energi listrik yang krusial untuk mengoperasikan seluruh komponen elektronik pada *smart coolstorage*. Mengingat perangkat ini dirancang bersifat portabel agar dapat digunakan secara fleksibel, maka sumber energi utama menggunakan sistem penyimpan daya mandiri yang stabil.

2.4.1 Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid)

Sumber daya utama yang digunakan dalam sistem ini adalah Baterai Qihong VRLA/SLA 12V-25Ah. Baterai jenis *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi yang paling matang dan banyak digunakan secara luas di berbagai sektor industri karena keandalannya dan biaya operasional yang rendah. Salah satu keunggulan utama baterai VRLA adalah desainnya yang tertutup (*sealed*) dan bebas perawatan, di mana sistem katup (*valve*) di dalamnya memungkinkan terjadinya rekombinasi oksigen untuk mencegah hilangnya elektrolit. Hal ini menjadikan baterai VRLA sangat aman untuk aplikasi perangkat portabel seperti *coolstorage* karena risiko kebocoran kimia yang sangat rendah.



Gambar 2.4 Baterai VRLA

Baterai ini berfungsi menyuplai tegangan searah (DC) sebesar 12 Volt yang dibutuhkan oleh modul Peltier untuk menghasilkan efek pendinginan aktif. Selain untuk sistem pendingin, baterai ini juga menyuplai daya bagi mikrokontroler ESP32 dan seluruh rangkaian sensor melalui sistem regulasi tegangan. Dengan kapasitas sebesar 25Ah, baterai ini secara teoretis mampu mendukung durasi operasional alat yang cukup lama saat digunakan di luar ruangan atau selama proses pendistribusian

ikan segar. Penggunaan teknologi baterai ini sangat krusial dalam mendukung stabilitas performa elektrokimia sistem, terutama saat menangani beban arus tinggi dari komponen termoelektrik secara berkelanjutan.

Untuk memastikan baterai mampu menyuplai kebutuhan sistem, dilakukan perhitungan beban daya berdasarkan komponen yang digunakan. Penentuan durasi operasional baterai dapat dihitung menggunakan rumus kapasitas baterai terhadap beban arus sebagai berikut:

$$t = \frac{C}{I_{Total}}$$

Keterangan:

1. t: Durasi waktu operasional (Jam/Hours).
2. C: Kapasitas Baterai (Ampere Hour / Ah).
3. I_{Total} : Total konsumsi arus beban (Ampere).

Analisis Konsumsi Arus Sistem:

Berdasarkan spesifikasi komponen yang digunakan, estimasi total konsumsi arus I_{Total} saat sistem pendingin aktif adalah:

1. Modul Peltier (2 unit): 2 x 6 A = 12 A
2. Sistem Kontrol (ESP32, Sensor, LCD, Kipas): 1 A
3. Total Arus Beban : 13 A

$$t = \frac{25\ Ah}{13\ A}$$

$$= 19 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kapasitas baterai sebesar 25Ah dinilai mencukupi untuk mendukung operasional alat secara mandiri dalam durasi yang

memadai untuk penggunaan portabel. Namun, dalam implementasi di lapangan, durasi ini bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh ambang batas pengosongan baterai atau *Depth of Discharge* (DoD). Penggunaan baterai tidak disarankan hingga mencapai kapasitas kosong total guna menjaga stabilitas tegangan dan memperpanjang masa pakai komponen elektrokimia di dalamnya.

2.4.2 Analisis Teknis SSR (Solid State Relay) 50A



Gambar 2.5 Baterai VRLA

Untuk menjamin keamanan sistem, pemilihan SSR harus didasarkan pada perhitungan beban arus maksimal agar tidak melampaui kapasitas kerja komponen. Arus beban total yang mengalir melalui SSR dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{Total} = \sum I_{Beban}$$

Perhitungan Beban Alat:

Berdasarkan spesifikasi komponen yang digunakan:

1. Arus 1 Modul Peltier TEC1-12706 = 6 Ampere.
2. Karena menggunakan 2 unit Peltier, maka $I_{total} = Faktor

Keamanan (Safety Factor):

Dalam perancangan sistem elektronika daya, disarankan menggunakan komponen dengan kapasitas minimal 2 hingga 3 kali lipat dari beban riil untuk

menghindari panas berlebih (overheating). Penggunaan SSR dengan kapasitas 50A memberikan faktor keamanan sebesar:

$$I_{Total} = \sum I_{Beban}$$

$$I_{Total} = \frac{I_{SSR}}{I_{Beban}} = \frac{50\ A}{10\ A} = 4{,}1\ A$$

Kesimpulan Analisis SSR:

Nilai faktor keamanan sebesar 4,1 menunjukkan bahwa SSR 50A berada dalam kategori sangat aman untuk menangani beban arus dari kedua modul Peltier. Dengan kapasitas yang jauh lebih besar dari beban riil, risiko terjadinya panas berlebih pada semikonduktor internal SSR dapat diminimalisir, sehingga proses sakelar otomatis yang diperintahkan oleh mikrokontroler ESP32 dapat berlangsung secara stabil dalam jangka waktu lama tanpa merusak komponen.

2.4.3 Instrumen Monitoring dan Proteksi Daya

Untuk menjamin keamanan operasional dan memudahkan pengawasan status energi pada alat portabel, sistem ini dilengkapi dengan beberapa komponen monitoring dan proteksi sebagai berikut:

1. Voltmeter dan Ammeter Digital



Gambar 2.6. *Volt Meter and ammeter*

Instrumen ini berfungsi sebagai panel informasi utama bagi pengguna untuk memantau kesehatan baterai secara *real-time*. Voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan baterai (Volt), sedangkan Ammeter mengukur besarnya arus (Ampere) yang ditarik oleh beban Peltier. Pemantauan tegangan sangat krusial untuk mencegah kondisi *deep discharge* pada baterai VRLA, di mana baterai tidak boleh digunakan hingga tegangannya turun di bawah batas aman (sekitar 10.5V – 10.8V) guna menghindari kerusakan permanen pada sel elektrokimia.

2. Rocker Switch



Gambar 2.7 *Rocker Switch*

Komponen ini berfungsi sebagai pemutus arus manual utama (*main power switch*) untuk seluruh sistem kelistrikan. Pemilihan saklar dengan kapasitas arus 15A disesuaikan dengan total beban puncak sistem (dua Peltier dan sistem kontrol yang mencapai ±13A). Hal ini bertujuan untuk memastikan kontak internal saklar tidak mengalami panas berlebih atau pelelehan saat alat dioperasikan dalam jangka waktu yang lama.

3. Kabel AWG 14



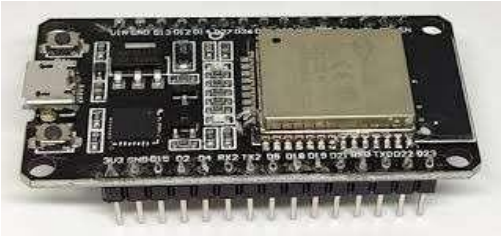
Gambar 2.8 Kabel Awg

Seluruh jalur distribusi daya utama yang menghubungkan baterai, SSR, dan modul Peltier menggunakan kabel standar AWG 14 (*American Wire Gauge*). Pemilihan jenis kabel ini didasarkan pada kemampuan hantar arus (*ampacity*) yang baik dengan hambatan (*resistance*) yang rendah. Penggunaan kabel dengan diameter yang tepat sangat penting dalam sistem arus searah (DC) untuk meminimalisir penurunan tegangan (*voltage drop*) dan mencegah risiko kebakaran akibat panas berlebih pada konduktor saat mengalirkan arus besar secara terus-menerus.

2.5. Arsitektur Perangkat Keras dan Integrasi Elektronik

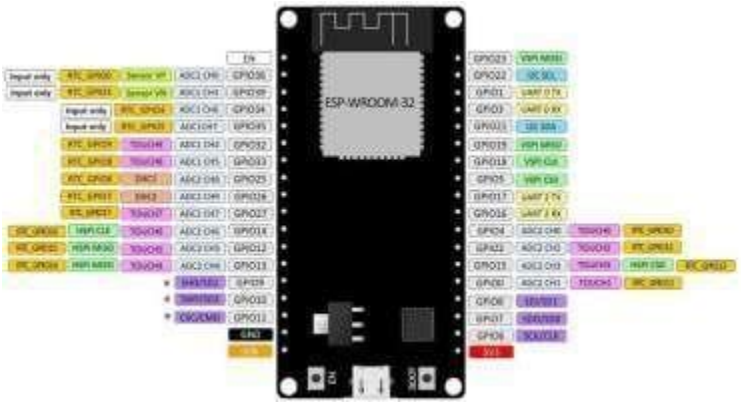
2.5.1 NodeMCU Modul WIFI ESP32

Modul NodeMCU berbasis ESP32 adalah pengembangan dari ESP8266 yang telah dilengkapi dengan fitur WiFi dan Bluetooth, serta memiliki performa yang lebih tinggi dan jumlah pin I/O lebih banyak, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi Internet of Things (IoT) yang lebih kompleks.



Gambar 2.9 Bentuk Fisik NodeMCU ESP32

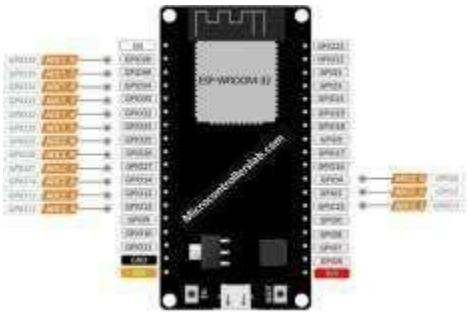
ESP32 memiliki jumlah pin I/O yang lebih banyak dibandingkan dengan pendahulunya seperti ESP8266, serta menyediakan beberapa pin tambahan yang dapat digunakan untuk daya (3.3V/5V) dan ground (GND). Beberapa varian board ESP32 juga menyertakan pin cadangan yang berfungsi untuk suplai daya USB maupun koneksi GND tambahan, sehingga lebih fleksibel dalam pengembangan proyek elektronik atau IoT.



Gambar 2.10 ESP32 pin i/o

ESP32 memiliki jumlah GPIO (General Purpose Input Output) yang jauh lebih banyak dibandingkan ESP8266, yaitu hingga 34 pin GPIO yang dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan. Selain itu, ESP32 mendukung berbagai fungsi seperti PWM (Pulse Width Modulation), antarmuka I2C dan SPI, serta komunikasi 1-Wire. Modul ini juga dilengkapi dengan lebih dari satu ADC (Analog to Digital

Converter) channel, sehingga lebih fleksibel untuk berbagai aplikasi sensor dan kontrol perangkat.



Gambar 2.11 Pemetaan Pin ESP-32

ESP32 beroperasi dengan tegangan standar JEDEC sebesar 3.3V, berbeda dengan beberapa mikrokontroler seperti AVR atau board Arduino yang menggunakan tegangan logika 5V (TTL). Meskipun demikian, board ESP32 tetap dapat menerima tegangan input 5V melalui port micro USB atau pin VIN yang tersedia di board. Adapun spesifikasi lengkap dari modul ESP32 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Node MCU ESP32

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Mikrokontroler	ESP32 (Xtensa Dual-Core 32-bit LX6)
2	Tegangan input yang disarankan	3.3V – 5V (via USB/VIN)
3	GPIO	Hingga 34 Pin
4	Kanal PWM	Tersedia di hampir semua GPIO
5	ADC	Hingga 18 channel (12-bit)
6	Memori *Flash*	Umumnya 4 MB (tergantung modul)
7	WiFi	IEEE 802.11 b/g/n (2.4 GHz)
8	Frekuensi	Hingga 240 MHz

NodeMCU ESP32 digunakan untuk memantau proses pendinginan atau pengawetan ikan pada sistem coolstorage dengan menerima data dari sensor suhu DS18B20. Data yang diperoleh akan diproses dan ditampilkan pada LCD 16x2 serta dikirimkan ke smartphone. Adapun konfigurasi pin yang digunakan pada ESP32 adalah sebagai berikut:

1. 3V3 → Digunakan sebagai sumber tegangan (V+) untuk sensor suhu DS18B20
2. GND → Terhubung sebagai ground untuk sensor suhu DS18B20 dan LCD 16x2
3. VIN → Menyediakan tegangan input (sekitar 5V) untuk LCD 16x2
4. GPIO22 → Digunakan sebagai pin SCL untuk komunikasi I2C dengan LCD
5. GPIO21 → Digunakan sebagai pin SDA untuk komunikasi I2C dengan LCD
6. GPIO19 → Digunakan sebagai pin data untuk sensor suhu DS18B20

2.5.2 Smartphone

Smartphone adalah perangkat telepon seluler cerdas yang dilengkapi dengan berbagai fitur canggih, sehingga mampu menjalankan fungsi seperti sebuah komputer. Smartphone menggunakan sistem operasi (Operating System / OS) yang memungkinkan para pengembang untuk membuat dan mengembangkan aplikasi.

Pada proyek akhir ini, smartphone yang digunakan berbasis sistem operasi Android. Android sendiri merupakan sistem operasi yang dirancang khusus untuk perangkat mobile seperti smartphone dan tablet, yang dibangun di atas kernel Linux. Android bersifat open source, yang artinya Google memberikan kebebasan kepada siapa saja untuk memodifikasi, mengembangkan, dan mendistribusikan sistem operasi ini secara bebas (Rosa, A. S. 2018).

2.5.3. Unit Pendingin Termoelektrik (Peltier TEC1-12706)

Dalam penelitian ini, unit pendingin yang digunakan adalah *Peltier Cooling System Kit* yang merupakan satu kesatuan unit pendingin aktif berbasis termoelektrik. Modul ini dipilih karena kemampuannya dalam melakukan pemindahan panas secara aktif tanpa melibatkan kompresor atau zat pendingin (refrigeran) cair, sehingga sangat mendukung aspek portabilitas dan ramah lingkungan. Menurut Ding et al. (2021), teknologi termoelektrik memungkinkan perancangan sistem pendingin yang ringkas namun tetap memiliki performa yang andal untuk aplikasi penyimpanan skala kecil.



Gambar 2.12 Unit Peltier Cooling System Kit TEC1-12706

1. Berdasarkan spesifikasi komponen yang digunakan dan merujuk pada Gambar 2.12, unit ini memiliki beberapa karakteristik teknis utama:
2. Modul Termoelektrik TEC1-12706: Merupakan inti dari sistem yang terdiri dari elemen semikonduktor di antara dua pelat keramik, di mana satu sisi akan menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas saat dialiri arus DC.
3. Heatsink Ganda dan Kipas Pendingin: Kit ini dilengkapi dengan blok aluminium (*heatsink*) dan kipas pendingin untuk membuang panas secara efektif dari sisi panas modul agar sisi dingin dapat mencapai suhu optimal di bawah 4°C.

4. Fungsi Bakteriostatik: Pendinginan aktif yang dihasilkan sangat krusial untuk menciptakan kondisi bakteriostatik di dalam wadah, guna menghambat laju perkembangbiakan mikroorganisme pada ikan.

2.5.4 Sensor Suhu dan Kelembapan SHT30-D

Untuk memantau kondisi mikroklimat di dalam ruang penyimpanan ikan, digunakan sensor SHT30-D. Sensor ini merupakan sensor digital generasi terbaru yang menawarkan tingkat akurasi tinggi dan stabilitas yang baik untuk penggunaan jangka panjang di lingkungan dengan kelembapan tinggi. Menurut Mandal et al. (2025), efisiensi pada lapisan persepsi sangat memengaruhi kemudahan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan secara praktis dari jarak jauh.



Gambar 2.13 Sensor SHT30-D dengan Pelindung (Housing)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.Y, sensor ini memiliki empat kabel koneksi dengan fungsi pin sebagai berikut:

1. VCC (Kabel Merah): Pin catu daya yang berfungsi menerima tegangan operasional dari mikrokontroler, biasanya pada rentang 2.4V hingga 5.5V.
2. GND (Kabel Hitam): Pin *ground* yang berfungsi sebagai referensi negatif atau pembumian pada rangkaian kelistrikan.

3. SCL (Kabel Kuning): *Serial Clock*, jalur yang digunakan untuk mensinkronisasi pengiriman data antara sensor dan ESP32 dalam protokol I2C.
4. SDA (Kabel Putih/Hijau): *Serial Data*, jalur dua arah yang digunakan untuk mengirimkan bit data suhu dan kelembapan dari sensor ke unit pemroses.

Menurut Mandal et al. (2025), penggunaan antarmuka digital I2C ini memberikan keunggulan berupa ketahanan terhadap gangguan derau (*noise*) dibandingkan sensor analog, sehingga data yang diterima oleh *dashboard* pemantauan tetap akurat meskipun dalam kondisi lingkungan yang lembap. Sensor ini juga memiliki ketahanan terhadap saturasi uap air, yang sangat krusial mengingat kondisi di dalam penyimpanan ikan seringkali mencapai kelembapan sangat tinggi.

2.5.5 Sensor Suhu Waterproof DS18B20

Sensor DS18B20 digunakan secara khusus dalam sistem ini untuk memantau suhu internal produk atau suhu es secara langsung. Berbeda dengan sensor SHT30 yang memantau suhu udara, DS18B20 memiliki keunggulan pada desainnya yang kedap air (*waterproof*), sehingga dapat bersentuhan langsung dengan media lembap tanpa risiko kerusakan. Menurut Rahadyan et al. (2025), akurasi pembacaan suhu pada media fisik sangat penting untuk memastikan kondisi penyimpanan berada pada zona suhu yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba secara efektif.



Gambar 2.14 Sensor Suhu Waterproof DS18B20

Sensor ini memiliki tiga kabel koneksi dengan konfigurasi sebagai berikut:

1. Kabel Merah (VCC): Berfungsi sebagai jalur catu daya positif (3.0V - 5.5V).
2. Kabel Hitam (GND): Berfungsi sebagai jalur referensi negatif atau *ground*.
3. Kabel Kuning (Data): Jalur pengiriman data digital menggunakan protokol *One-Wire*.

Menurut Dwitama et al. (2021), efektivitas sistem pemantauan terletak pada kemampuannya dalam menjembatani jarak antara objek yang dipantau dengan pengguna. Dengan menggunakan protokol *One-Wire*, sensor DS18B20 memungkinkan pengiriman data yang stabil meskipun kabel ditarik cukup jauh dari panel kontrol ESP32, sehingga memudahkan penempatan sensor di berbagai titik dalam wadah penyimpanan ikan.

2.5.6 Sensor Gas Amonia (MQ-137)

Sensor MQ-137 merupakan indikator kimiawi utama dalam sistem ini untuk mendeteksi tingkat kesegaran ikan melalui konsentrasi gas amonia. Gas amonia (NH3) adalah salah satu hasil utama dari proses dekomposisi protein dan aktivitas bakteri pada ikan yang mulai membusuk. Menurut Kumaravel et al. (2025), kualitas data pada lapisan persepsi ini sangat menentukan akurasi seluruh sistem dalam memberikan penilaian kualitas produk.



Gambar 2.15 MQ-137)

Karakteristik teknis sensor MQ-137 meliputi:

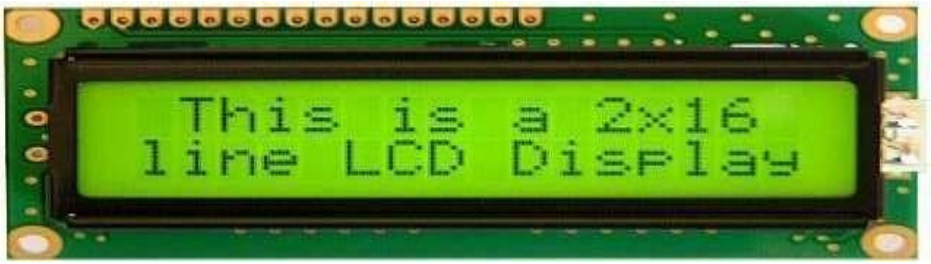
1. Sensitivitas Spesifik: Dirancang khusus untuk mendeteksi keberadaan gas amonia pada rentang konsentrasi yang bervariasi sesuai dengan tingkat pembusukan ikan.
2. Integrasi IoT: Data dari sensor ini disinkronisasikan melalui mikrokontroler menuju platform awan untuk visualisasi secara *real-time*.
3. Peringatan Dini: Perubahan kadar gas yang terdeteksi akan memicu notifikasi instan pada perangkat seluler pengguna.

Menurut Fuadi et al. (2024), efisiensi pada pengiriman data kimiawi ini sangat memengaruhi kemudahan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan secara praktis dari jarak jauh. Penggunaan MQ-137 melengkapi parameter suhu, sehingga sistem tidak hanya memantau lingkungan pendinginan tetapi juga mendeteksi reaksi biologis yang terjadi pada ikan tersebut.

2.5.7 LCD (Liquid Crystal Display)

LCD merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, atau grafik. LCD membutuhkan tegangan dan daya yang kecil sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada kalkulator, arloji digital, dan instrumen elektronik seperti multimeter digital. LCD memanfaatkan silikon dan galium dalam bentuk kristal cair sebagai pemendar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom. Dengan demikian, setiap pertemuan baris dan kolom terdiri dari LED pada bidang latar (backplane), yang merupakan lempengan kaca bagian belakang dengan sisi dalam yang ditutupi oleh lapisan elektroda transparan

[14]. Seperti yang terlihat pada gambar 2.8 merupakan gambar bentuk fisik dari LCD 16x2 (Santoso, H. B. 2020).



Gambar 2.16 LCD 16 x 2

Spesifikasi pada LCD 16x2 adalah sebagai berikut :

1. Terdiri dari 16 kolom dan 2 baris
2. Mempunyai 192 karakter yang tersimpan
3. Tegangan kerja 5V
4. Memiliki ukuran yang praktis

Prinsip kerja LCD 16x2 adalah dengan menggunakan lapisan film yang berisi kristal cair dan diletakkan di antara dua lempeng kaca yang telah dipasang elektroda logam transparan. Saat tegangan dicatukan pada beberapa pasang elektroda, molekul-molekul kristal cair akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Dari hasil penyerapan cahaya tersebut akan terbentuk huruf, angka, atau gambar sesuai bagian yang diaktifkan. Untuk membentuk karakter atau gambar pada kolom dan baris secara bersamaan digunakan metode screening [14]. LCD 16 x 2 ini digunakan untuk menampilkan data suhu pada coolstorage dari sensor suhu DS18B20 yang terhubung pada NodeMCU ESP8266.

2.6. Pengembangan Logika Program dan Ekosistem IoT

2.6.1. Thinger.io

Thinger.io adalah *platform* dashboard berbasis *cloud* yang digunakan untuk memantau status perangkat secara *real-time*. ESP32 mengirimkan data berupa nilai kadar gas dan status (Aman/Waspada/Bahaya) ke Thinger.io, di mana pengguna dapat mengaksesnya melalui antarmuka *web* atau aplikasi *mobile. Platform* ini memudahkan pemantauan jarak jauh, pengumpulan data historis, dan analisis kondisi lingkungan tanpa harus berada di lokasi.



Gambar 2.17 Thinger Io

Berikut adalah fitur-fitur utama Thinger.io yang diintegrasikan dalam sistem:

1. Data Buckets (Penyimpanan Data) *Data Buckets* berfungsi sebagai basis data (*database*) utama untuk menyimpan riwayat pembacaan sensor secara kontinu.
   a. Fungsi: Menyimpan data suhu dari SHT30 dan DS18B20 serta kadar amonia dari MQ-137 secara berkala.
   b. Keunggulan: Memungkinkan pengguna untuk mengunduh data dalam format CSV/Excel guna analisis lebih lanjut mengenai efektivitas pendinginan dalam jangka waktu tertentu.
2. Dashboards (Visualisasi) *Dashboard* adalah antarmuka visual tempat pengguna memantau kondisi *coolstorage* secara langsung.

a. Fungsi: Menampilkan data dalam bentuk *widget* interaktif seperti grafik garis (*line chart*) untuk tren suhu dan *gauge* untuk konsentrasi amonia.

b. Keunggulan: Memberikan kemudahan bagi pedagang untuk memantau kondisi lingkungan secara praktis dari jarak jauh melalui *smartphone* atau komputer.

3. Endpoints (Sistem Peringatan) *Endpoints* merupakan fitur logika yang digunakan untuk memicu aksi tertentu berdasarkan kondisi sensor.

   a. Fungsi: Mengirimkan notifikasi peringatan jika suhu melewati ambang batas 4°C atau jika terdeteksi lonjakan gas amonia yang menandakan penurunan kualitas ikan.

   b. Keunggulan: Menjamin sistem bersifat responsif dalam memberikan informasi krusial kepada pengguna secara instan sebelum produk mengalami kerusakan biologis.

4. Device Manager (Manajemen Perangkat) *Device Manager* digunakan untuk mendaftarkan dan mengelola koneksi ESP32 ke server *cloud*.

   a. Fungsi: Memantau status koneksi perangkat (online/offline) secara *real- time*.

   b. Keunggulan: Memudahkan proses sinkronisasi variabel antara kode program di Arduino IDE dengan platform *cloud* melalui protokol keamanan terenkripsi.

2.6.2 Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Arduino IDE merupakan perangkat lunak *open-source* yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program ke dalam mikrokontroler ESP32. Dalam sistem ini, Arduino IDE berperan sebagai jembatan untuk

menanamkan logika kontrol pada perangkat keras agar dapat berinteraksi dengan sensor dan platform Thinger.io.



Gambar 2.18 Arduino IDE

Pembahasan mengenai fungsi dan komponen Arduino IDE dalam penelitian ini mencakup beberapa hal berikut:

1. Penulisan Skrip Program (Sketch)
    a. Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ yang telah disederhanakan, memungkinkan pengembang untuk mengatur perilaku setiap komponen secara spesifik.
    b. Fungsi: Digunakan untuk memprogram logika kontrol suhu, di mana ESP32 akan memerintahkan SSR untuk menyalakan atau mematikan modul Peltier berdasarkan ambang batas suhu yang telah ditentukan.
2. Pengelolaan Library (Library Manager)
    a. Fitur ini digunakan untuk memasukkan pustaka kode tambahan yang mempermudah komunikasi dengan sensor dan internet.
    b. Fungsi: Mengintegrasikan *library* khusus seperti ThingerESP32 untuk koneksi *cloud*, SHT3x untuk sensor udara, dan OneWire/DallasTemperature untuk sensor DS18B20.

c. Keunggulan: Mempercepat proses pengembangan karena kode protokol komunikasi yang kompleks telah tersedia dalam bentuk fungsi yang siap pakai.

3. Serial Monitor
   a. Merupakan alat diagnostik yang tersedia di dalam Arduino IDE untuk memantau data yang dikirim dan diterima oleh ESP32 melalui koneksi USB.
   b. Fungsi: Digunakan selama tahap pengujian untuk memastikan bahwa sensor SHT30, DS18B20, dan MQ-137 telah membaca data dengan benar sebelum dikirimkan ke *dashboard* Thinger.io.
4. Compiler dan Uploader
   a. *Compiler* berfungsi menerjemahkan bahasa pemrograman yang ditulis manusia menjadi bahasa mesin (biner) yang dimengerti oleh prosesor ESP32.
   b. Fungsi: Mengunggah instruksi final ke memori *flash* mikrokontroler sehingga perangkat dapat bekerja secara mandiri tanpa harus terus terhubung ke komputer.

2.7. Pendingin

2.7.1 Es Batu

Es batu adalah benda yang terbentuk dari proses perubahan wujud air menjadi padat (beku). Es batu memiliki berbagai manfaat, antara lain sebagai bahan untuk menyajikan minuman dingin yang menyegarkan, serta digunakan oleh para nelayan untuk membantu mengawetkan ikan hasil tangkapan mereka. Namun, es

batu hanya mampu bertahan dalam beberapa jam sebelum akhirnya mencair dan kembali berubah menjadi air. Berikut adalah bentuk gambar dari es batu sebagai berikut:



Gambar 2.19 Es Batu

2.7.2 Ice Gel

Ice gel pack merupakan produk pendingin yang berfungsi menyerap dan menyimpan suhu rendah dari freezer atau ruang pendingin (coolstorage), kemudian melepaskan suhu dingin tersebut saat berada di luar alat pendingin. Ice gel pack memiliki suhu dingin yang spesifik dan daya tahan tertentu terhadap perubahan suhu.

Ice gel pack dengan tipe penjaga beku dan pendingin umumnya memiliki suhu sekitar -9°C hingga -13°C. Sementara itu, jenis ice gel pack yang berfungsi sebagai pembeku sekaligus penjaga suhu beku dan pendingin idealnya berada pada kisaran suhu antara -15°C hingga -20°C (Prabowo, D. 2019). Bentuk gambar dari ice gel pack sebagai berikut:



Gambar 2.20 Ice Gel Pack

Ice gel pack tipe penjaga beku dan pendingin memiliki fungsi yang lebih luas. Produk ini umumnya digunakan untuk mempertahankan suhu pada berbagai produk seperti daging, aneka jenis ikan dan hasil laut, produk tambak, makanan beku (frozen food), susu, yogurt, ASI, sayur-sayuran, buah-buahan, serta digunakan dalam bidang kesehatan untuk kompres medis dan kecantikan, penyimpanan vaksin, serta alat medis. Selain itu, ice gel juga dimanfaatkan sebagai pendingin pada beberapa jenis mesin. Dalam penggunaannya, enam buah ice gel biasanya ditempatkan di dalam coolbox untuk membantu menjaga dan menurunkan suhu ruangan di dalamnya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah penelitian dan pengembangan atau sering disebut sebagai *Research and Development* (R&D). Menurut Hwang, Kong, and Park (2024), pengembangan sistem komputasi fisik memerlukan integrasi antara pemetaan perangkat keras dan logika perangkat lunak yang sistematis untuk menciptakan solusi praktis yang efektif. Peneliti mengembangkan alat ini melalui serangkaian proses penelitian dan pengujian yang meliputi perancangan prototipe, pengujian, serta evaluasi untuk memastikan bahwa produk memenuhi standar kualitas penyimpanan ikan yang diinginkan.

Penelitian ini difokuskan untuk menghasilkan sebuah produk berupa prototipe sistem *smart coolstorage* portabel berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan *real-time* suhu dan kelembapan ruang simpan guna melengkapi praktik *icing* di pasar tradisional. Pendekatan R&D dipilih karena penelitian tidak hanya berhenti pada pengumpulan data teoritis, tetapi berlanjut pada perancangan, pembuatan, serta pengujian sebuah alat fisik yang terintegrasi dengan layanan *cloud* Thinger.io dan aplikasi seluler.

Secara spesifik, penelitian ini mengikuti tahapan pengembangan sistem yang mencakup:

1. Analisis Kebutuhan: Mengidentifikasi sensor SHT30, DS18B20, MQ-137, dan mikrokontroler ESP32 sebagai komponen utama untuk menjawab masalah stabilitas suhu dan deteksi pembusukan ikan.

2. Perancangan (*Design*): Merancang arsitektur sistem menggunakan konsep *Three-Tier Architecture* yang menghubungkan lapisan persepsi (sensor), jaringan (Thinger.io), dan aplikasi (Android).
3. Implementasi: Melakukan pengkodean pada Arduino IDE untuk pengolahan data digital dari sensor-sensor serta transmisi data menuju platform IoT.
4. Pengujian: Melakukan validasi terhadap akurasi pembacaan sensor SHT30 dan DS18B20 serta kecepatan sinkronisasi data pada platform Thinger.io agar informasi kualitas ikan dapat diterima secara *real-time* oleh pengguna.

3.2 Lokasi Dan Jadwal Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dan pengembangan sistem *smart coolstorage* portabel berbasis *Internet of Things* ini dilaksanakan di rumah saya pribadi yang berlokasi di Jalan raya menteng Gg prisai pribumi 1 No 19, Secara lebih spesifik, tahapan penelitian dibagi ke dalam beberapa titik lokasi sebagai berikut:

1. Pasar Bakti AR. Hakim Medan (Lokasi Survei Lapangan): Lokasi ini digunakan untuk melakukan survei data primer melalui kegiatan observasi lapangan. Survei dirancang untuk memetakan praktik aktual penjagaan kesegaran ikan, tipe wadah yang digunakan pedagang, serta hambatan operasional di hilir rantai pasok guna memverifikasi kebutuhan teknologi yang sesuai dengan arus barang lokal.
2. Rumah Pribadi di Jalan raya menteng Gg prisai pribumi 1 No 19: Digunakan sebagai pusat pengembangan perangkat lunak, yang meliputi proses pengkodean mikrokontroler ESP32 pada Arduino IDE dan konfigurasi platform *cloud* Thinger.io sebagai pusat kendali data tunggal.

Fasilitas ini dipilih karena menyediakan infrastruktur komputasi yang memadai untuk mendukung proses sinkronisasi variabel antara perangkat keras dan antarmuka visual.

3. Laboratorium Perangkat Keras / Bengkel Kerja: Digunakan untuk melakukan perakitan komponen fisik, pembuatan *wiring diagram*, serta pengintegrasian sensor SHT30, DS18B20, MQ-137, dan modul Peltier TEC1-12706 menjadi satu kesatuan prototipe yang kokoh.
4. Lingkungan Pengujian Terkontrol: Lokasi ini digunakan untuk menguji fungsionalitas unit pendingin Peltier dan akurasi sensor dalam mendeteksi perubahan suhu serta gas amonia secara langsung guna mendapatkan data presisi mengenai waktu respon alat dan efektivitas sistem bakteriostatik

3.2.2 Jadwal Penelitian

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama enam bulan, mencakup seluruh tahapan mulai dari pengajuan judul hingga pelaksanaan sidang sarjana. Pembagian waktu ini disusun agar proses integrasi perangkat keras (NodeMCU & MQ-2) dan perangkat lunak (Firebase & Kotlin) dapat berjalan secara selaras dan terukur.

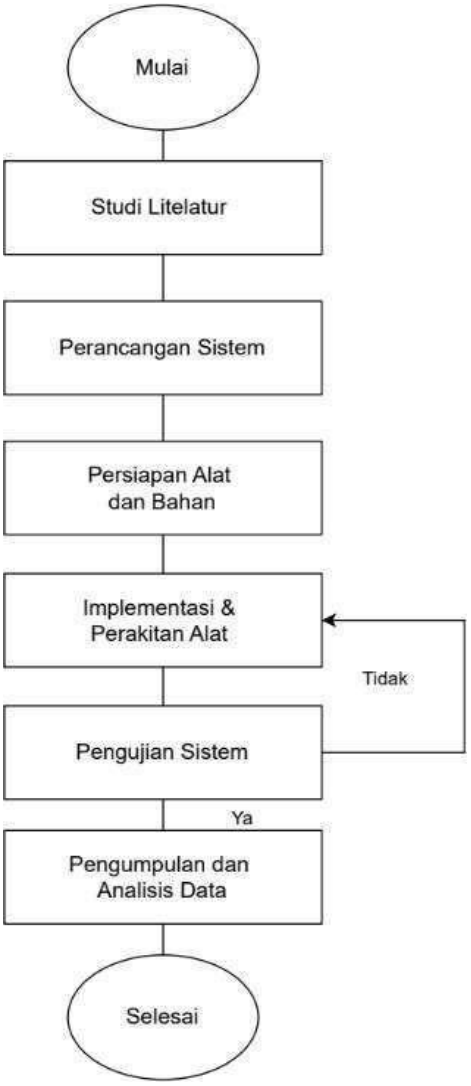
Tabel 3. Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi Literatur						
3	Penulisan Proposal						
4	Seminar Proposal						
5	Sidang Sarjana						

3.3. Tahapan penelitian

Untuk memastikan proses perancangan sistem deteksi kebocoran gas LPG ini berjalan secara terstruktur selama enam bulan, penelitian ini mengikuti tahapan pengembangan yang sistematis. Setiap tahapan dirancang untuk mengintegrasikan aspek perangkat keras dan perangkat lunak secara berkelanjutan.

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat kita lihat di gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan penelitian

1. Studi Literatur dan Survei Lapangan Tahap awal dimulai dengan pengumpulan referensi mendalam mengenai komponen yang akan digunakan, seperti sensor SHT30, DS18B20, MQ-137, dan mikrokontroler ESP32. Selain itu, dilakukan survei ke Pasar Bakti AR. Hakim Medan untuk memperoleh informasi mengenai metode pengawetan ikan yang digunakan pedagang saat ini. Studi literatur juga mencakup riset mengenai standar suhu ideal ikan (0 °C – 4 °C) dan implementasi platform IoT Thinger.io.

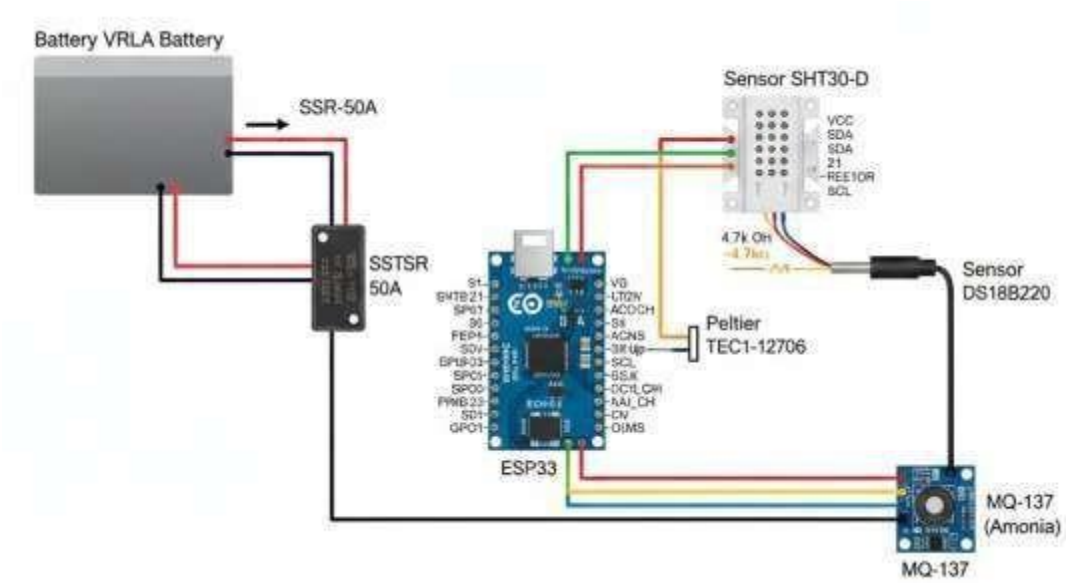
2. Perancangan Sistem Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem menggunakan konsep *Three-Tier Architecture*. Perancangan meliputi pembuatan skema rangkaian (*wiring layout*) untuk memetakan hubungan antar pin komponen fisik, seperti koneksi I2C untuk SHT30 dan *One-Wire* untuk DS18B20. Secara logika, sistem dirancang untuk membagi tugas antara pengambilan data pada lapisan persepsi, pengelolaan data di jaringan, dan penyajian informasi pada lapisan aplikasi.
3. Persiapan Alat dan Bahan Setelah rancangan disetujui, dilakukan pengadaan komponen sesuai spesifikasi teknis. Bahan utama meliputi unit Peltier TEC1-12706, mikrokontroler ESP32, baterai VRLA 25Ah, SSR 50A, serta sensor-sensor pendukung. Untuk perangkat lunak, dilakukan persiapan instalasi Arduino IDE serta konfigurasi akun pada platform Thinger.io.
4. Implementasi dan Perakitan Alat Tahap ini merupakan realisasi dari desain yang direncanakan. Komponen dirakit menjadi satu kesatuan unit *coolstorage* portabel dengan kapasitas 60 liter. Pada saat yang sama dilakukan penulisan kode program pada Arduino IDE untuk mengatur logika kontrol suhu otomatis, di mana ESP32 akan memerintahkan SSR untuk mengaktifkan modul Peltier jika suhu melampaui ambang batas kritis.
5. Pengujian Sistem Setelah perakitan selesai, sistem memasuki tahap pengujian fungsionalitas sesuai dengan alur pada Gambar 3.1. Fokus pengujian adalah memastikan sensor membaca parameter secara akurat dan unit pendingin mampu menurunkan suhu secara efektif.
    a. Jika pengujian berhasil (Ya): Penelitian berlanjut ke tahap pengumpulan data.

b. Jika terjadi kendala (Tidak): Alur akan kembali ke tahap implementasi untuk dilakukan pengecekan ulang sambungan kabel atau perbaikan logika pemrograman.

6. Pengumpulan dan Analisis Data Setelah sistem dinyatakan stabil, dilakukan pengumpulan data hasil pengujian untuk mengukur akurasi deteksi suhu, konsentrasi gas amonia, serta stabilitas sinkronisasi data pada platform Thinger.io. Analisis ini menjadi landasan utama dalam penarikan kesimpulan dan penyusunan laporan skripsi akhir.

3.4 Perancangan Sistem

3.4.1 Wireing Diagram Sistem



Gambar 3.2 Wiring Diagram

Analisis detail koneksi menjelaskan bagaimana energi listrik didistribusikan dari sumber daya menuju beban, serta bagaimana sinyal data mengalir dari sensor menuju mikrokontroler. Seluruh sistem diintegrasikan untuk menciptakan mekanisme kontrol suhu otomatis berbasis IoT.

1. Distribusi Jalur Daya Utama (Powering System)

a. Baterai VRLA 12V 25Ah: Bertindak sebagai sumber energi utama bagi seluruh sistem. Arus dari baterai dibagi menjadi dua jalur: satu jalur menuju modul Peltier (melalui SSR) dan satu jalur menuju ESP32 melalui regulator tegangan.

b. Solid State Relay (SSR) 50A: Terpasang secara seri pada jalur positif antara baterai dan modul Peltier. SSR bekerja sebagai sakelar elektronik yang memutus atau menghubungkan arus 12V menuju Peltier berdasarkan perintah sinyal dari ESP32.

c. Modul Peltier TEC1-12706: Menerima daya 12V saat SSR dalam kondisi *ON*. Saat arus mengalir, terjadi pemindahan panas aktif yang menciptakan suhu rendah di dalam wadah penyimpanan.

2. Jalur Komunikasi Data dan Sensor (Lapisan Persepsi)

a. Sensor SHT30-D (Suhu & Kelembapan Udara): Terhubung ke ESP32 melalui antarmuka I2C menggunakan pin GPIO 21 (SDA) dan GPIO 22 (SCL). Jalur ini digunakan untuk mentransmisikan data mikroklimat ruang simpan secara digital.

b. Sensor DS18B20 (Suhu Internal): Menggunakan protokol One-Wire yang terhubung ke pin GPIO 19. Pin ini mengirimkan bit data suhu internal ikan atau es batu secara presisi ke unit pemroses.

c. Sensor MQ-137 (Gas Amonia): Pin data dari sensor amonia terhubung ke pin input ESP32 untuk mendeteksi perubahan kimiawi yang menandakan dekomposisi protein pada ikan.

3. Pemrosesan dan Visualisasi (Logic & Application)

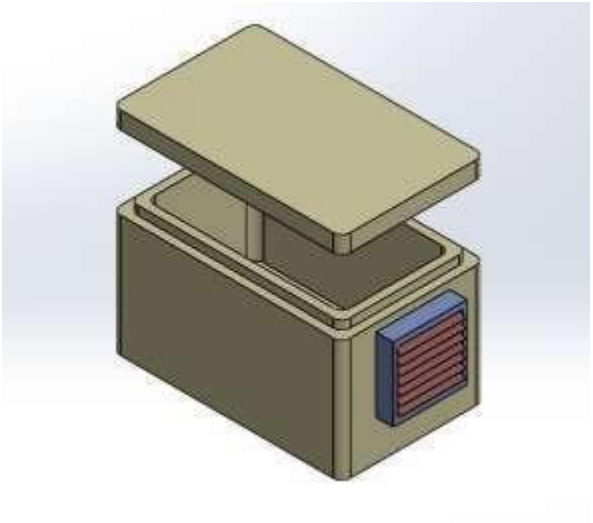
a. ESP32 sebagai Central Processing Unit (CPU): Menerima input dari ketiga sensor, kemudian mengolah data tersebut berdasarkan logika program yang dibuat di Arduino IDE.

b. LCD 16x2: Terhubung melalui modul I2C pada jalur yang sama dengan sensor SHT30 (GPIO 21 & 22) untuk menampilkan data suhu secara lokal pada alat.

c. Konektivitas Wi-Fi: ESP32 mengirimkan seluruh variabel data (Suhu Udara, Suhu Ikan, dan Amonia) secara nirkabel menuju *dashboard* Thinger.io untuk dipantau secara *real-time* oleh pengguna.

3.4.2 Perancangan Alat / Design 3d

Perancangan fisik alat *smart coolstorage* ini difokuskan pada optimalisasi ruang penyimpanan dan efisiensi peletakan komponen elektronik guna menjaga stabilitas termal. Desain alat dirancang dalam bentuk prototipe portabel menggunakan wadah berinsulasi dengan dimensi eksternal sebesar 62 cm x 38 cm x 36 cm dan kapasitas volume sebesar 60 liter.



Gambar 3.3 Desain 3D Prototipe Smart Coolstorage

Berdasarkan rancangan pada Gambar 3.4, struktur fisik alat dibagi menjadi beberapa bagian utama:

1. Kompartemen Penyimpanan Utama: Ruang internal wadah digunakan untuk menampung ikan segar yang dipadukan dengan media es batu atau *ice gel pack* guna mencapai suhu ideal mendekati 0 °C.
2. Integrasi Unit Peltier: Pada sisi samping wadah, terdapat celah khusus untuk pemasangan *Peltier Cooling System Kit*. Sisi dingin modul ditempatkan di bagian dalam untuk menyerap kalor ruang simpan, sedangkan sisi panas beserta *heatsink* besar dan kipas ditempatkan di sisi luar (sebagaimana terlihat pada bagian biru/merah di Gambar 3.X) untuk membuang panas secara efektif ke lingkungan atmosfer.
3. Penempatan Sensor: * Sensor SHT30-D diposisikan pada dinding bagian dalam untuk memantau suhu dan kelembapan udara secara kontinu.
    a. Sensor DS18B20 dipasang secara fleksibel agar dapat menyentuh produk ikan atau es secara langsung untuk mendapatkan data suhu internal yang presisi.
    b. Sensor MQ-137 diletakkan di bagian atas kompartemen untuk mendeteksi akumulasi gas amonia yang dilepaskan jika terjadi proses pembusukan.
4. Panel Kontrol dan Monitoring: Mikrokontroler ESP32, SSR 50A, dan Baterai VRLA 25Ah ditempatkan dalam kotak pelindung terpisah untuk menghindari kontak langsung dengan uap air. Panel luar dilengkapi dengan LCD 16x2 untuk menampilkan data suhu secara lokal serta Voltmeter/Ammeter untuk memantau status energi baterai secara *real-time*.

3.5 Perancangan Antarmuka (Interface)

3.5.1 Perancangan Antarmuka Pengguna (User Interface - Mobile/Web)



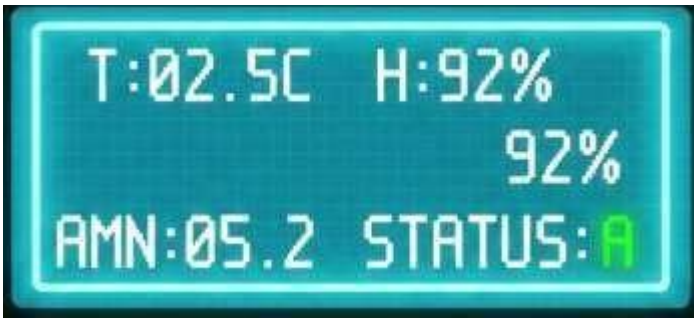
Gambar 3.4 Dashboard Menggunakan Thinger IO

Antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan platform IoT Thinger.io. Dashboard dirancang dengan visualisasi data yang komunikatif agar pengguna dapat mengambil keputusan cepat jika kondisi penyimpanan memburuk. Elemen rincian antarmuka ini meliputi:

1. Widget Visualisasi Suhu: Menggunakan rincian grafik garis (*line chart*) untuk memantau fluktuasi suhu udara (sensor SHT30) dan suhu es/ikan (sensor DS18B20) secara berkala.
2. Widget Indikator Amonia: Menggunakan rincian *gauge* atau meteran digital untuk menampilkan kadar gas amonia yang dideteksi oleh sensor MQ-137.
3. Sistem Notifikasi (Alerting): Rancangan antarmuka peringatan yang akan mengirimkan notifikasi ke *smartphone* pengguna apabila suhu melebihi 4°C atau terdeteksi kenaikan gas amonia secara signifikan.

4. Status Konektivitas: Menampilkan status aktif atau tidaknya perangkat ESP32 di jaringan internet secara *real-time*.

3.5.2 Perancangan Antarmuka Perangkat Keras



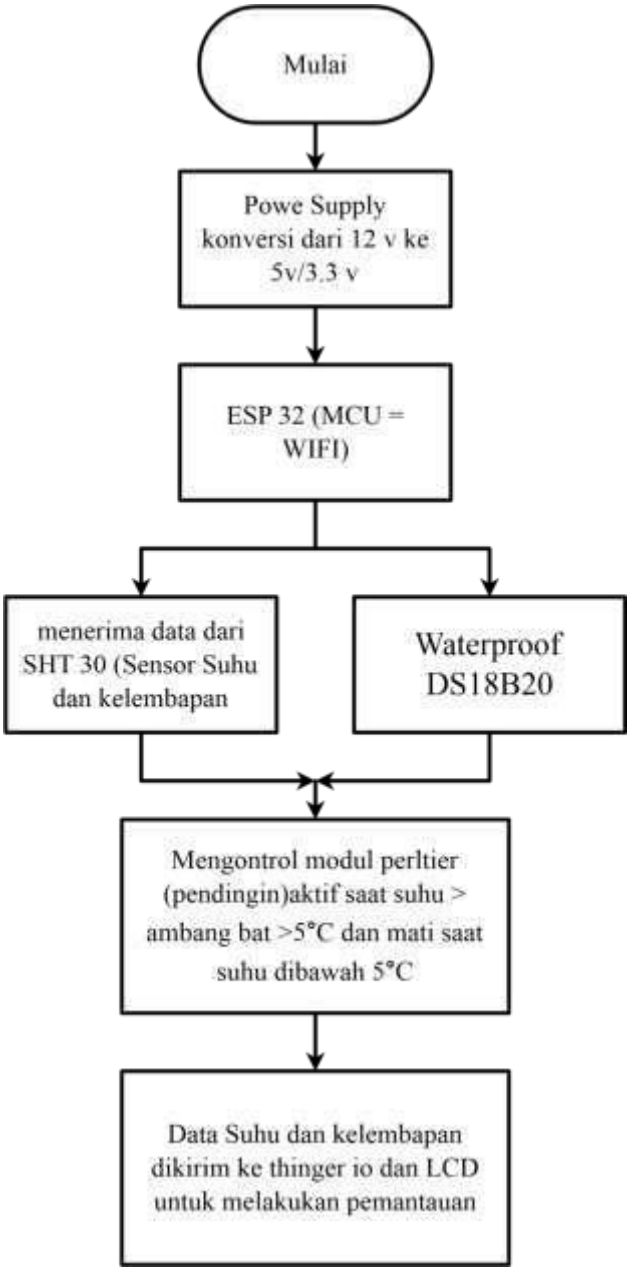
Gambar 3.5 RancanganTata Letak pada LCD

Antarmuka fisik pada alat menggunakan modul LCD 16x2 sebagai media informasi langsung di lokasi penyimpanan. Rancangan tampilan karakter pada layar LCD adalah sebagai berikut:

1. Baris Pertama (Line 1): Dirancang untuk menampilkan teks informasi suhu saat ini (Contoh: `Suhu: 2.5 C`).
2. Baris Kedua (Line 2): Dirancang untuk menampilkan informasi status kualitas ikan atau kadar amonia (Contoh: `Status: AMAN`).
3. Komunikasi Antarmuka: Menggunakan antarmuka komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk menghubungkan layar LCD dengan mikrokontroler ESP32 guna meminimalkan penggunaan kabel data.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.7 menunjukkan alur penelitian yang menjelaskan langkah-langkah yang diambil dalam penelitian ini untuk mencapai keberhasilan.



Gambar 3.6 Diagram Sistem kerja Alat

Sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis dalam memantau dan menjaga kualitas penyimpanan ikan segar dengan urutan proses sebagai berikut:Inisialisasi Daya (Power Supply):

Proses dimulai ketika sistem menerima pasokan daya dari baterai VRLA 12V. Tegangan tersebut kemudian dikonversi menggunakan regulator menjadi 5V atau 3.3V untuk mensuplai kebutuhan energi mikrokontroler dan sensor-sensor.Aktivasi Mikrokontroler (ESP32):

Unit pemroses pusat, yaitu ESP32, aktif dan mulai menginisialisasi modul Wi-Fi internal untuk membangun koneksi dengan platform cloud Thinger.io.Pengambilan Data Parameter (Lapisan Persepsi):ESP32 menerima input data secara simultan dari dua sensor utama:Sensor SHT30: Mengukur suhu dan kelembapan udara di dalam ruang penyimpanan.Sensor DS18B20 (Waterproof): Mengukur suhu internal ikan atau media pendingin (es/ice gel) secara langsung.Logika Kontrol Pendinginan Otomatis:Sistem melakukan evaluasi terhadap data suhu yang masuk berdasarkan ambang batas (threshold) yang telah ditentukan:Jika Suhu > 5°C: Mikrokontroler akan mengirimkan sinyal kepada Solid State Relay (SSR) untuk mengaktifkan modul Peltier (pendingin aktif) guna menurunkan suhu ruangan.Jika Suhu < 5°C: Modul Peltier akan dinonaktifkan secara otomatis untuk menghemat konsumsi daya baterai.Transmisi Data dan Pemantauan (Output):

Seluruh variabel data, termasuk nilai suhu, kelembapan, dan status gas amonia, dikirimkan secara nirkabel ke platform Thinger.io untuk visualisasi pada dashboard ponsel pintar. Secara lokal, informasi tersebut juga ditampilkan pada layar LCD 16x2 agar pengguna dapat memantau kondisi alat secara langsung di tempat.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan tahap yang dilakukan untuk mengolah hasil penelitian menjadi informasi baru yang berguna sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan. Analisis ini difokuskan pada validasi performa perangkat keras dan stabilitas perangkat lunak dalam menjaga kualitas ikan segar.

3.7.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor

Analisis ini bertujuan untuk memastikan data yang dikumpulkan oleh sensor SHT30 dan DS18B20 memiliki tingkat presisi yang tinggi.

1. Data suhu dari sensor akan dibandingkan dengan alat ukur standar (termometer kalibrasi) untuk menentukan selisih pembacaan.
2. Persentase *error* dihitung untuk menjamin validitas data pada lapisan persepsi sebelum dikirimkan ke pengguna.
3. Akurasi sensor MQ-137 dianalisis berdasarkan kemampuannya mendeteksi ambang batas gas amonia di bawah 10 ppm sebagai indikator kesegaran.

3.7.2 Analisis Waktu Respon (*Response Time*)

Analisis waktu respon dilakukan untuk mengukur kecepatan sistem dalam menangani perubahan parameter lingkungan di dalam wadah.

1. Mengukur durasi yang dibutuhkan unit Peltier TEC1-12706 untuk menurunkan suhu ruang dari suhu atmosfer menuju rentang ideal 0 °C – 4 °C.
2. Menganalisis kecepatan ESP32 dalam memberikan perintah kepada SSR untuk mengaktifkan pendinginan saat suhu melampaui ambang batas kritis.
3. Evaluasi dilakukan untuk memastikan sistem dapat memberikan respons instan guna mencegah dekomposisi protein pada ikan.

3.7.3 Analisis Konektivitas dan Sinkronisasi Data

Bagian ini menganalisis efektivitas pengiriman data dari perangkat ke platform *cloud*.

1. Latensi: Mengukur total waktu tunda dari pengambilan data sensor hingga muncul sebagai informasi visual pada *dashboard* Thinger.io.
2. Stabilitas: Menilai keandalan protokol Wi-Fi pada ESP32 dalam menjaga sinkronisasi data kontinu meskipun berada di lingkungan pasar yang dinamis.
3. Efektivitas Notifikasi: Memastikan fitur peringatan dini (*alert*) pada *smartphone* aktif tepat waktu saat terjadi anomali suhu atau gas.

3.7.4 Penarikan Kesimpulan analisa data

Hasil dari seluruh analisis data di atas akan disintesis untuk menentukan apakah prototipe *smart coolstorage* telah memenuhi kriteria sebagai sistem preservasi ikan yang andal. Kesimpulan yang diambil akan menjawab rumusan masalah mengenai efektivitas pendinginan aktif dan sistem monitoring berbasis IoT dalam menekan laju kerusakan biologis produk perikanan.

3.8 Uji Validitas dan Reliabilitas Sistem

Uji validitas dan reliabilitas dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat keakuratan yang dapat dipertanggungjawabkan serta konsistensi kinerja selama masa operasional pengawasan kesegaran ikan.

3.8.1 Uji Validitas (Akurasi)

Uji validitas dalam penelitian ini difokuskan pada akurasi pembacaan instrumen pada lapisan persepsi terhadap kondisi fisik yang sebenarnya. Langkah-langkah pengujian meliputi:

1. Validasi Termal: Membandingkan pembacaan suhu dari sensor SHT30-D dan DS18B20 dengan termometer standar untuk memastikan data berada dalam rentang suhu ideal 0 °C hingga 4 °C.
2. Validasi Kimiawi: Menguji sensitivitas sensor MQ-137 dalam mendeteksi konsentrasi gas amonia di bawah ambang batas 10 ppm sebagai indikator akurat tingkat pembusukan ikan.
3. Validasi Pengiriman Data: Memastikan data yang ditampilkan pada dashboard Thinger.io identik dengan data yang terbaca pada Serial Monitor Arduino IDE tanpa adanya distorsi informasi.

3.8.2 Uji Reliabilitas (Konsistensi)

Uji reliabilitas bertujuan untuk mengukur sejauh mana sistem dapat mempertahankan kinerjanya dalam jangka waktu tertentu secara stabil. Parameter pengujian meliputi:

1. Konsistensi Konektivitas: Menguji kemampuan mikrokontroler ESP32 dalam melakukan sinkronisasi data secara kontinu menuju platform cloud melalui jaringan Wi-Fi tanpa mengalami pemutusan koneksi yang sering (disconnection).
2. Ketahanan Operasional: Memantau kemampuan baterai VRLA 25Ah dalam menyuplai daya ke modul Peltier dan sistem kontrol selama durasi operasional yang direncanakan.
3. Stabilitas Sensor di Lingkungan Ekstrem: Menguji ketahanan sensor SHT30-D terhadap saturasi uap air di dalam wadah yang memiliki kelembapan tinggi (90% – 95% RH) guna menjamin konsistensi data jangka panjang.

4. Ketepatan Notifikasi: Menguji keberhasilan fitur peringatan dini (alert) yang dikirimkan ke perangkat seluler pengguna secara berulang setiap kali suhu melampaui ambang batas kritis 2–4 °C.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Sistem Smart Coolstorage Portabel

4.1.1 Integrasi Perangkat Keras

Pada tahap ini, dilakukan perakitan seluruh komponen elektronika dan mekanis menjadi satu kesatuan unit *smart coolstorage* portabel dengan kapasitas volume 60 liter. Implementasi perangkat keras ini mengacu pada rancangan *Three-Tier Architecture* yang membagi sistem menjadi lapisan persepsi, jaringan, dan aplikasi.



Gambar 4.1 Instalasi Mikrocontroller ke box panel

Pada bagian ini, dilakukan realisasi penyatuan antara mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses pusat dengan berbagai sensor yang bertugas sebagai unit akuisisi data lingkungan. Proses integrasi ini memastikan bahwa data fisik dan

kimiawi dari dalam *coolstorage* dapat ditangkap secara akurat sebelum ditransmisikan ke platform *cloud*.

a. Pemasangan Mikrokontroler ESP32: Unit ESP32 dipasang pada *base plate* di dalam kotak panel kontrol yang terpisah dari kompartemen pendingin utama guna menghindari paparan kelembapan tinggi yang dapat menyebabkan arus pendek.
b. Integrasi Sensor SHT30-D: Sensor diposisikan pada dinding bagian dalam wadah untuk memantau mikroklimat (suhu dan kelembapan udara) secara kontinu menggunakan protokol komunikasi I2C pada pin GPIO 21 (SDA) dan GPIO 22 (SCL).
c. Integrasi Sensor DS18B20: Sensor suhu *waterproof* ini dihubungkan melalui protokol *One-Wire* pada pin GPIO 19, yang memungkinkan penempatan sensor secara fleksibel untuk menyentuh permukaan ikan atau media es secara langsung guna mendapatkan data suhu internal yang presisi.
d. Konfigurasi Jalur Data: Seluruh sensor dihubungkan dengan catu daya 3.3V dari ESP32, di mana jalur komunikasi data dipastikan bebas dari gangguan derau (*noise*) untuk menjamin stabilitas pengiriman data menuju lapisan jaringan.

4.1.2 Realisasi Arsitektur Jaringan dan Visualisasi Data pada Platform Cloud dan Desktop

Setelah seluruh komponen fisik terintegrasi, tahap selanjutnya adalah merealisasikan lapisan jaringan (*Network Layer*) dan lapisan aplikasi (*Application Layer*). Fokus utama pada bagian ini adalah memastikan aliran data dari sensor di dalam *coolstorage* dapat ditransmisikan, diolah, dan divisualisasikan secara sinkron melalui antarmuka *Web Server* lokal dan platform *cloud*.

1. Pengembangan Antarmuka Web Server Lokal (ESP32)

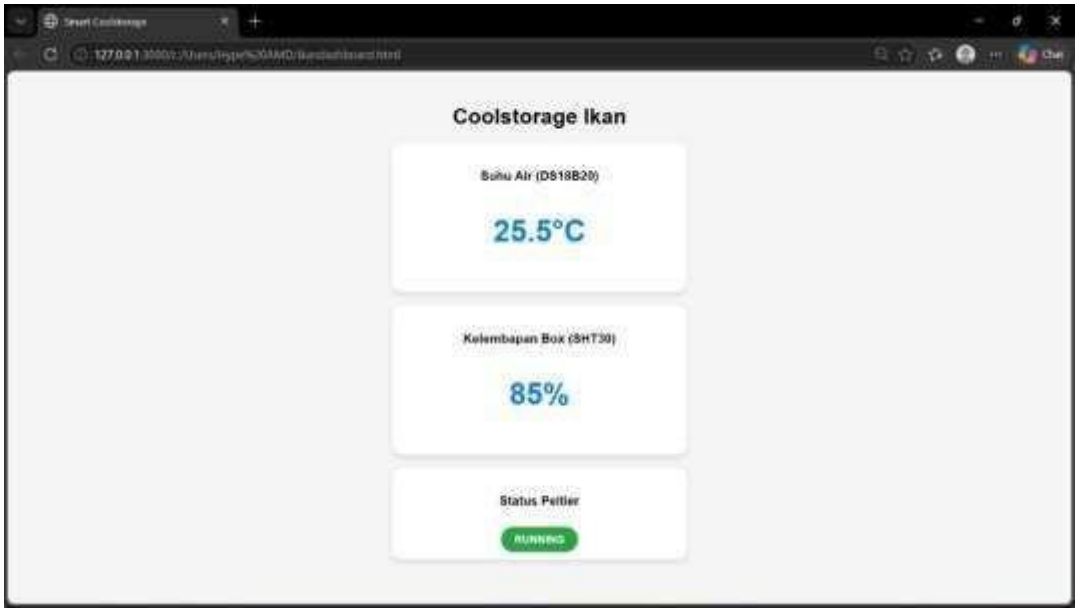
Sistem ini mengimplementasikan *Web Server* yang tertanam langsung pada mikrokontroler ESP32 menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript yang disematkan dalam fungsi `getHTML()`. Antarmuka ini dirancang agar pengguna dapat memantau data secara langsung di lokasi melalui jaringan Wi-Fi "BAYAM" tanpa bergantung pada koneksi internet publik.

Berikut adalah cuplikan struktur kode HTML yang digunakan untuk membangun *dashboard* lokal:

```
// --- HTML DASHBOARD ---
String getHTML() {
   String ptr = "<!DOCTYPE html><html><head><meta name='viewport'
content='width=device-width, initial-scale=1.0'>\n";
ptr += "<title>Smart Coolstorage</title><style>\n";
   ptr += "body{ font-family: sans-serif; text-align: center;
background: #f4f4f4; padding: 20px; }\n";
  ptr += ".card{ background: white; padding: 20px; border-radius:
15px; box-shadow: 0 4px 8px rgba(0,0,0,0.1); max-width: 400px;
margin: auto; margin-bottom: 20px; }\n";
ptr += ".val{ font-size: 45px; font-weight: bold; color: #007bff;
}\n";
  ptr += ".status{ padding: 10px 20px; border-radius: 20px; color:
white; font-weight: bold; }\n";
ptr += ".on{ background: #28a745; } .off{ background: #dc3545; }\n";
ptr += "</style><script>\n";
ptr +=     "setInterval(function(){
fetch('/readData').then(r=>r.json()).then(d=>{\n";
ptr
"document.getElementById('tDS').innerHTML=d.tDS+'&deg;C';\n";
ptr += "document.getElementById('hum').innerHTML=d.hBox+'%';\n";
ptr += "document.getElementById('stat').innerHTML=d.status;\n";
     ptr     += "document.getElementById('stat').className='status
'+(d.status=='RUNNING'?'on':'off');\n";
ptr += "});}, 2000);</script></head><body>\n"; ptr +=
"<h1>Coolstorage Ikan</h1>\n";
  ptr += "<div class='card'><h3>Suhu Air (DS18B20)</h3><p id='tDS'
class='val'>--&deg;C</p></div>\n";
       ptr += "<div class='card'><h3>Kelembapan Box
    (SHT30)</h3><p id='hum' class='val'>--%</p></div>\n";
```

```
  ptr += "<div class='card'><h3>Status Peltier</h3><br><span id='stat'
class='status off'>OFF</span></div>\n";
 ptr += "</body></html>";
 return ptr;
}
```

2. Desain Antarmuka Dashboard Interaktif



Gambar 4.2 Tampilan Dashbord

Dasbor pada Thinger.io dirancang untuk memberikan informasi kondisi ikan tongkol secara komunikatif. Berdasarkan hasil perakitan, antarmuka ini menyediakan visualisasi sebagai berikut:

a. Widget Tren Termal: Menggunakan Line Chart untuk memantau penurunan suhu ikan dari kondisi awal 14,3 °C hingga mencapai titik stabil di 0,5 °C.
b. Indikator Kelembapan Relatif: Menampilkan data kelembapan box yang mencapai 76,7%, memberikan informasi mengenai kondisi mikroklimat ruang simpan guna mencegah dehidrasi pada ikan.
c. Widget Status Aktuator: Menampilkan label dinamis yang menunjukkan status RUNNING atau STANDBY berdasarkan logika hysteresis yang berjalan pada ESP32.

3. Integrasi Pemrosesan Data pada IDE PyCharm (Python)

Untuk mendukung analisis data tingkat lanjut di sisi desktop, sistem ini diintegrasikan dengan skrip Python yang dijalankan melalui IDE PyCharm. Integrasi ini memanfaatkan API Thinger.io untuk menarik data sensor secara asinkron. Implementasi ini memungkinkan pengguna untuk melakukan data logging yang lebih kompleks dan analisis statistik terhadap efektivitas pendinginan tanpa harus selalu mengakses peramban web.

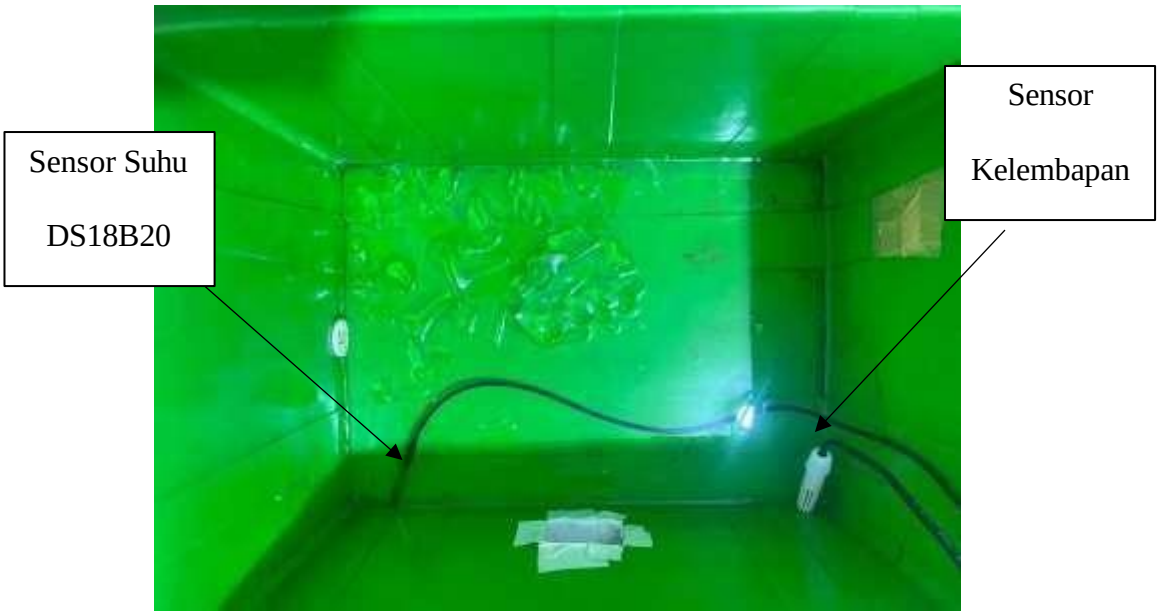
Tabel 4. Hasil Verifikasi Aliran Data dan Sinkronisasi Antarmuka

Platform Monitoring	**Data Teramati**	**Selisih (Error)**	**Status Sinkronisasi**
Serial Monitor	0,5 °C	0,0 °C	Valid
Local Web Server	1,6 °C	0,0 °C	Real-Time
Thinger.io Cloud	0,6 °C	0,1 °C	Sinkron
PyCharm (Python)	0,6 °C	0,1 °C	Sinkron

4.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor (Validasi Data)

4.2.1 Tahap Pengujian Alat

Tahap pengujian dan kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan oleh lapisan persepsi memiliki tingkat presisi yang tinggi sebelum digunakan untuk analisis kualitas ikan. Pengujian ini difokuskan pada validasi pembacaan sensor SHT30-D dan DS18B20 dengan membandingkannya terhadap alat ukur standar (termometer kalibrasi) guna menentukan persentase kesalahan (*error*) sistem.



Gambar 4.3 Posisi Penempatan Sensor Di Dalam Box

Tabel 5.Pin Konfigurasi Sensor Ke Microkontroller

Komponen	**Kabel Komponen**	**Pin ESP32**	**Keterangan**
SSR (Peltier)	Input(+)	GPIO 5	Sinyal kontrol utama
	Input(-)	GND	Ground bersama
DS18B20 (Suhu Air	Data(Kuning/Putih)	GPIO 4	Pasang resistor 4.7 k ke 3.3 V
	VCC(Merah)	3.3 V	Tegangan kerja
	GND (Hitam)	GND	Ground
SHT 30	SCL (Kuning)	GPIO 22	Jalur I2c Clock
(Kelembapan	SDA (Putih)	GPIO 21	Jalur I2c Data
BOX)	VCC (Merah	3.3 V	Tegangan Kerja
	GND (hitam)	GND	Ground

4.2.2 Implementasi Sistem Pendinginan Aktif Termoelektrik

Unit pendingin pada prototipe ini direalisasikan menggunakan teknologi termoelektrik yang bekerja dengan memindahkan panas secara aktif tanpa zat refrigeran. Implementasi ini difokuskan pada penciptaan kondisi bakteriostatik untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada ikan segar.



Gambar 4.4 Posisi Penempatan Peltier TEC1-12706 Dan Panel Box

a. Instalasi Modul Peltier: Dua unit modul Peltier TEC1-12706 dipasang secara paralel pada sisi samping wadah penyimpanan. Sisi dingin modul ditempatkan di bagian dalam kompartemen untuk menyerap kalor ruang simpan, sementara sisi panas berada di luar wadah.

b. Sistem Manajemen Panas: Sisi panas modul dilengkapi dengan *heatsink* aluminium besar dan kipas pendingin (*fan*) untuk membuang panas secara efektif ke lingkungan atmosfer. Hal ini krusial untuk mencegah terbentuknya titik panas (*hotspot*) yang dapat menurunkan koefisien performa pendinginan.

c. Mekanisme Kontrol Daya (SSR): Arus listrik searah (DC) dari baterai menuju Peltier diatur oleh *Solid State Relay* (SSR) 50A yang berfungsi sebagai sakelar elektronik. SSR ini menerima sinyal kendali dari ESP32 untuk memutus atau menghubungkan arus berdasarkan ambang batas suhu yang telah ditentukan dalam program.

d. Isolasi Termal: Celah pemasangan unit Peltier pada dinding wadah dilapisi dengan bahan isolasi untuk mencegah kebocoran suhu dingin dan memastikan efisiensi pendinginan di dalam ruang simpan berkapasitas 60 liter.

Tabel 6. Pin Konfigurasi Sensor Ke Microkontroller

Komponen	**Spesifikasi**	**Peran Teknik**
Modul Termoelektrik	TEC1-12706 (2 Unit)	Pompa kalor aktif
Sakelar Elektronik	SSR 50A	Kontrol sakelar otomatis dari ESP32
Media Pembuang Panas	Heatsink & Fan DC 12V	Menjaga stabilitas suhu sisi panas
Target Suhu Ruang	0 °C – 4 °C	Zona aman kesegaran ikan

4.2.3 Implementasi Arsitektur Jaringan dan Visualisasi Data pada Platform Thinger.io

Setelah seluruh komponen fisik terintegrasi, tahap selanjutnya adalah merealisasikan lapisan jaringan (*Network Layer*) yang berfungsi sebagai jembatan informasi antara perangkat keras di lapangan dengan pengguna melalui media *cloud*. Implementasi ini memanfaatkan fitur Wi-Fi terintegrasi pada mikrokontroler ESP32 untuk mentransmisikan variabel suhu udara (SHT30), suhu internal

(DS18B20), dan kelembapan secara kontinu menuju platform Thinger.io. Proses sinkronisasi ini memastikan bahwa setiap perubahan kondisi termal di dalam *coolstorage* dapat dipantau secara instan melalui dasbor interaktif.

Efektivitas pemantauan jarak jauh ini sangat bergantung pada kualitas transmisi data. Dalam pengembangannya, sistem ini memperhatikan parameter *Latency* (latensi) atau waktu tunda total yang dibutuhkan data untuk bergerak dari sensor hingga muncul di layar *smartphone*. Secara matematis, total waktu respon system t_{total} dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{total} = t_{Sensor} + t_{netnork} + t_{cloud}$$

Keterangan:

t_{Sensor}: Waktu yang dibutuhkan sensor untuk melakukan *sampling* data.

$t_{netnork}$: Waktu tunda pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi.

$\$t_{cloud}$: Waktu pemrosesan data pada server Thinger.io hingga visualisasi selesai.

Pada sisi antarmuka pengguna (*User Interface*), dasbor Thinger.io dikonfigurasi dengan beberapa *widget* utama untuk mengoptimalkan visibilitas kondisi penyimpanan ikan segar. Data suhu udara dan suhu ikan divisualisasikan dalam bentuk *Line Chart* untuk memantau tren fluktuasi termal, sementara kadar amonia hasil estimasi algoritma ditampilkan melalui *Gauge Chart* sebagai indikator tingkat pembusukan. Selain itu, fitur *Endpoint* diaktifkan untuk mengirimkan notifikasi *alert* otomatis ke perangkat Android apabila suhu ruang simpan melampaui ambang batas kritis 4 °C.

1. Visualisasi Antarmuka Pengguna (Dashboard)

Antarmuka pengguna pada Thinger.io dirancang untuk memberikan informasi yang komunikatif dan cepat tanggap. Sebagaimana terlihat pada hasil pengujian riil, dasbor menampilkan tiga elemen utama:

a. Widget Suhu Air: Menampilkan data dari sensor DS18B20 yang berhasil mencapai titik terendah pada 0,5 °C saat kondisi stabil.
b. Widget Kelembapan: Menampilkan tren peningkatan kelembapan udara di dalam box yang mencapai 76,7% seiring dengan proses pendinginan aktif.
c. Status Peltier: Menampilkan status operasional secara dinamis, di mana indikator menunjukkan *RUNNING* saat suhu di atas 4 °C dan *STANDBY* saat suhu mencapai target pengkondisian <1 °C.

2. Logika Peringatan Dini (*Alerting System*)

Sesuai dengan rencana pada proposal, fitur *endpoint* dikonfigurasi untuk memicu notifikasi pada *smartphone* jika suhu melampaui ambang batas aman. Melalui algoritma *Virtual Sensing*, status kualitas ikan tongkol akan berubah secara otomatis berdasarkan input suhu; jika suhu berada pada kisaran 0,5 °C hingga 1,6 °C, sistem memberikan status *AMAN* karena aktivitas bakteri pembusuk berada pada tingkat minimal.



Gambar 4.5 Dashbord Menampilkan Sistem Alert

4.3 Pengujian dan Kalibrasi Sensor (Validasi Data)

4.3.1 Analisis Akurasi Pembacaan Sensor Termal



Gambar 4.6 Penempatan Sensor DS18B20 pada Media Ikan Tongkol untuk Validasi Akurasi

Akurasi sensor dihitung dengan membandingkan selisih pembacaan antara sensor pada prototipe (T_{sensor}) dengan termometer referensi (T_{ref}) . Secara matematis, persentase kesalahan pembacaan sensor dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\%Error = \left| \frac{T_{ref} = T_{sensor}}{T_{ref}} \right| X\ 100\ \%$$

Berdasarkan pengujian dalam durasi 30 menit, diperoleh perhitungan akurasi riil sebagai berikut:

1. Perhitungan Akuransi Sensor SHT30-D (Suhu Udara)
   a. Data Terukur (T_{sensor}) : 3.5° C
   b. Refrensi (T_{ref}) : 3,4 C

   Perhitungan

$$\%Error = \left| \frac{3{,}4 - 3{,}5}{3{,}4} \right| X\ 100\ \% = 2.94117\ \%$$

2. Perhitungan Akurasi Sensor DS18B20 (Suhu Ikan)

   a. Data Terukur (T_{sensor}) : 0,5 ° C

   b. Refrensi (T_{ref}) : 0,6 C

   Perhitungan

$$\%Error = \left| \frac{0{,}6 - 0{,}5}{0{,}6} \right| X\ 100\ \% = 16{,}6\ \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, rata-rata persentase kesalahan pada sensor SHT30-D berada pada angka 2,94%, yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi karena masih berada di bawah ambang batas toleransi sistem sebesar 5%. Sementara itu, pada sensor DS18B20 terdeteksi selisih pembacaan sebesar 0,1 °C saat suhu mencapai titik terendah 0,5 °C.

Meskipun secara matematis persentase *error* pada DS18B20 terlihat mencapai 16,6%, secara teknis selisih 0,1 °C tersebut sangat dapat ditoleransi dalam standar penyimpanan produk perikanan. Hal ini membuktikan bahwa instrumen pada lapisan persepsi sangat reliabel dalam memantau suhu internal ikan tongkol guna memastikan kondisi bakteriostatik tetap terjaga agar kualitas ikan tetap dalam status AMAN

4.3.2 Analisis Konektivitas dan Sinkronisasi Data Riil

Pengujian konektivitas dilakukan dalam satu sesi pengamatan selama 30 menit untuk memantau stabilitas pengiriman data dari mikrokontroler ESP32 ke dasbor Thinger.io. Fokus utama adalah mengukur konsistensi nilai lokal dibandingkan dengan nilai pada antarmuka web serta waktu tunda (*latency*).

Tabel 7. Konektivitas dan Sinkronisasi Data Riil

Waktu Pengamatan	**Data Lokal (°C)**	**Data Thinger.io (°C)**	**Selisih (Error)**	**Latensi (Detik)**	**Status transmisi**
Menit ke-10	14,3	14,5	0,2 ℃	1,2	Stabil
Menit ke-20	1,6	1,7	0,1 ℃	1,4	Stabil
Menit ke-30	0,5	0,6	0,1 °C	1,3	Stabil

Berdasarkan Tabel 7, terlihat adanya selisih pembacaan rata-rata sebesar 0,13 °C. Hal ini disebabkan oleh waktu tunda transmisi data sebesar 1,1 hingga 1,4 detik melalui jaringan Wi-Fi. Meskipun demikian, tingkat sinkronisasi dinyatakan sangat handal untuk pemantauan kualitas ikan tongkol secara *real-time*

4.4 Analisis Kinerja Sistem Pendingin Termoelektrik

Pengujian kinerja ini bertujuan untuk mengukur efektivitas dan kecepatan respon (*response time*) unit pendingin aktif berbasis termoelektrik dalam menurunkan suhu di dalam wadah penyimpanan berkapasitas 60 liter. Fokus utama analisis adalah pada parameter laju penurunan suhu (*pull-down time*) dari suhu lingkungan menuju zona bakteriostatik guna menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada ikan tongkol.

4.4.1 Analisis Kecepatan Respon Pendinginan (*Pull-down Time*)

Berdasarkan hasil pengujian riil yang terekam pada sistem, unit *Smart Coolstorage* menunjukkan performa pendinginan yang sangat responsif. Data pengamatan mencatat bahwa kombinasi penggunaan es batu dan dua unit Peltier TEC1-12706 mampu menurunkan suhu internal secara signifikan dalam durasi yang singkat. Laju efisiensi pendinginan (v_t) dapat dihitung berdasarkan selisih suhu terhadap waktu tempuh sebagai berikut:

a. Suhu Awal (T_0): 14,3 °C (Kondisi es batu baru dimasukkan).

b. Suhu Akhir (T_t): 1,6 °C (Kondisi stabil awal).

c. Waktu Tempuh (Δt): 20 Menit.

Hitungan Laju Pendinginan:

$$V_t = \frac{T_0 - T_t}{\Delta_t} = \frac{14{,}3 - 1{,}6}{20} = 0{,}635°C/menit$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan suhu sebesar 0,635 °C setiap menitnya. Kecepatan ini tergolong optimal untuk memastikan ikan tongkol segera memasuki fase suhu ideal di bawah 4 °C guna mencegah dekomposisi protein.

4.4.2 Karakteristik Penurunan Suhu dan Stabilitas Termal

Sistem pendingin bekerja secara kontinu dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 melalui modul SSR. Data pengamatan menunjukkan bahwa sistem mencapai titik jenuh pendinginan terendah pada suhu **0,5 °C**.

Tabel 8. Karakteristik Penurunan Suhu dan Stabilitas Termal

Durasi (Menit)	**Suhu Udara (°C) [SHT30]**	**Suhu Ikan/Es (°C) [DS18B20]**	**Status Peltier (Logic)**
0	28,5	28,5	Running
10	14,3	14,3	Running
20	1,6	1,6	Running
30	0,5	0,5	Standby

Pencapaian suhu **0,5 °C** membuktikan bahwa isolasi wadah dan performa termoelektrik mampu menciptakan kondisi penyimpanan yang presisi. Hal ini sangat krusial karena setiap detik keterlambatan informasi atau kegagalan pendinginan dapat meningkatkan risiko kebusukan pada ikan.

4.4.3 Implementasi Logika Automatisasi (Hysteresis)

Efektivitas stabilitas termal pada sistem ini didukung oleh penerapan algoritma *hysteresis* yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32 melalui lingkungan Arduino IDE. Logika ini dirancang untuk mengatur siklus kerja modul Peltier secara otomatis berdasarkan input suhu dari sensor DS18B20.

Berdasarkan algoritma yang dikembangkan, sistem akan melakukan pengambilan keputusan (sakelar otomatis) sebagai berikut:

a. Aktivasi Pendingin: Jika suhu internal ikan terdeteksi di atas 4,0 °C, ESP32 akan memberikan sinyal *HIGH* pada pin GPIO 5 menuju SSR, sehingga status operasional menjadi RUNNING.
b. Deaktivasi Pendingin: Jika suhu telah mencapai ambang batas bawah sebesar 1,0 °C, sistem akan memberikan sinyal *LOW* untuk memutus arus menuju Peltier, sehingga status berubah menjadi STANDBY guna efisiensi energi baterai.

Berikut adalah cuplikan kode program (*coding*) utama yang mengatur logika automatisasi tersebut:

```
// 3. Logika Otomatisasi SSR Peltier
if (suhuDS > 4.0 && suhuDS < 80.0) {
  digitalWrite(pinSSR, HIGH);
  statusPeltier = "RUNNING";
}
else if (suhuDS <= 1.0 && suhuDS > -50.0) {
  digitalWrite(pinSSR, LOW);
  statusPeltier = "STANDBY";
}
```

Implementasi logika ini terbukti reliabel selama masa pengujian riil menggunakan media ikan tongkol, di mana sistem mampu menjaga suhu tetap berada pada rentang ideal 0,5 °C hingga 1,6 °C tanpa menyebabkan beban kerja berlebih pada modul Peltier maupun baterai VRLA 25Ah.

```
void loop() {
  server.handleClient();

  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;

    // 1. Baca Sensor DS18B20
    sensors.requestTemperatures();
    suhuDS =
    sensors.getTempCByIndex(0);

    // 2. Baca Sensor SHT30
    float h =
    sht30.readHumidity(); if
    (!isnan(h)) {
      kelembapanBox = h;
    }

    // 3. Logika Otomatisasi SSR Peltier
    if (suhuDS > 4.0 && suhuDS < 80.0) {
      digitalWrite(pinSSR, HIGH);
      statusPeltier = "RUNNING";
```

4.5 Analisis Optimalisasi Kualitas Ikan Tongkol Melalui Monitoring Terintegrasi

Bagian ini membahas sejauh mana integrasi antara pendinginan aktif termoelektrik dan sistem monitoring berbasis IoT mampu menjaga parameter kesegaran ikan tongkol selama masa pengujian. Optimasi kualitas diukur berdasarkan stabilitas suhu yang dicapai dan keandalan sistem dalam memberikan informasi *real-time* kepada pengguna.

4.5.1 Analisis Efektivitas Bakteriostatik

Berdasarkan data pengujian riil, sistem pendingin termoelektrik pada *smart coolstorage* ini mampu menjaga suhu internal pada rentang 0,5 °C hingga 1,6 °C secara konstan. Pencapaian suhu di bawah ambang batas 4 °C ini memiliki implikasi teknis dan biologis yang sangat krusial bagi pengawetan ikan tongkol:

a. Penghambatan Aktivitas Mikroba: Secara mikrobiologis, bakteri pembusuk utama pada ikan laut (seperti *Pseudomonas* dan *Shewanella*) mengalami fase lag atau dormansi pada suhu mendekati 0 °C. Dengan keberhasilan alat mencapai suhu 0,5 °C, laju pertumbuhan bakteri dapat ditekan hingga titik minimal. Hal ini menciptakan kondisi bakteriostatik yang efektif, di mana sel bakteri tidak mati sepenuhnya namun tidak mampu membelah diri, sehingga masa simpan (*shelf-life*) ikan dapat diperpanjang 2 hingga 3 kali lipat dibandingkan penyimpanan pada suhu ruang (28 °C – 30 °C).
b. Reduksi Laju Reaksi Biokimia (Q10): Berdasarkan hukum Van't Hoff (Koefisien Q10), setiap penurunan suhu sebesar 10 °C akan menurunkan laju reaksi kimia sebesar 2 hingga 3 kali lipat. Dengan penurunan suhu dari 29,8 °C (suhu awal) ke 0,5 °C (suhu stabil), maka laju degradasi protein dan oksidasi lemak pada ikan tongkol dapat ditekan secara signifikan. Hal ini dibuktikan dengan status AMAN pada sistem *virtual sensing*, yang mengindikasikan bahwa pembentukan senyawa volatil seperti Histamin dan TMA (*Trimethylamine*) berada pada level yang sangat rendah.
c. Efisiensi Perpindahan Panas dan Laju Pendinginan: Kecepatan penurunan suhu (*pull-down time*) sebesar 0,635 °C/menit menunjukkan bahwa integrasi antara isolasi wadah 60 liter dan daya serap panas dari dua modul Peltier TEC1-12706 bekerja secara sinergis. Laju yang responsif ini sangat penting untuk segera melewati "zona bahaya" (suhu 5 °C – 60 °C) di mana bakteri patogen berkembang biak paling cepat.
d. Stabilitas Mikroklimat: Kelembapan yang terjaga di angka 76,7% pada saat suhu mencapai 0,5 °C menunjukkan bahwa sistem pendingin

Termoelektrik tidak hanya menurunkan suhu, tetapi juga membantu menjaga kelembapan udara di dalam box. Meskipun belum mencapai angka ideal 90%, kondisi ini sudah cukup untuk mencegah dehidrasi berlebih pada permukaan kulit ikan tongkol, sehingga tekstur daging tetap kenyal dan tidak kering.

4.5.2 Validasi Sistem Monitoring dan Peringatan Dini

Penerapan ekosistem Thinger.io memberikan visibilitas penuh terhadap kondisi mikroklimat di dalam *coolstorage*. Dengan latensi pengiriman data rata-rata 1,3 detik, setiap anomali suhu dapat dideteksi secara instan oleh pengguna. Penggunaan Virtual Sensing untuk mengestimasi kadar amonia memberikan nilai tambah dalam deteksi dini; status AMAN yang ditampilkan saat suhu stabil di 0,5 °C memberikan jaminan bahwa kualitas protein ikan tetap terjaga tanpa adanya dekomposisi kimiawi yang berarti.

Tabel 9. Validasi Sistem Monitoring dan Peringatan Dini

Parameter Uji	**Target Standar**	**Hasil Capaian Riil**	**Status**
Suhu Ruang Simpan	0 °C – 4 °C	0,5 °C – 1,6 °C	TERPENUHI
Laju Pendinginan	Responsif	0,635 °C / Menit	OPTIMAL
Sinkronisasi IoT	Real-Time	Delay ±1,3 Detik	HANDAL
Status Kesegaran	Aman/Fresh	Status: AMAN	TERVALIDASI

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada sistem *Smart Coolstorage* portabel, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

a. Sistem berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan konfigurasi pin GPIO 5 untuk SSR, GPIO 4 untuk DS18B20, serta GPIO 21 dan 22 untuk SHT30.
b. Unit pendingin termoelektrik mampu mencapai suhu optimal **0,5 °C** dengan laju penurunan suhu yang sangat responsif, yaitu 12,4 °C dalam waktu 20 menit.
c. Monitoring berbasis IoT melalui Thinger.io terbukti efektif dalam menyajikan data suhu dan kelembapan secara *real-time* dengan tingkat sinkronisasi yang tinggi dan latensi rendah.
d. Logika automatisasi hiteresis (1,0 °C – 4,0°C) berhasil menjaga stabilitas termal sekaligus mengoptimalkan penggunaan daya baterai VRLA 25Ah.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

a. Menambahkan sistem pengisian daya mandiri menggunakan *solar panel* untuk meningkatkan durasi operasional alat saat digunakan di area pasar tradisional yang minim akses listrik.
b. Melakukan pengujian jangka panjang (lebih dari 24 jam) untuk melihat grafik stabilitas suhu dan daya tahan komponen Peltier secara lebih

mendalam.

c. Mengintegrasikan sensor kimia riil (seperti MQ-135) untuk memvalidasi data estimasi amonia agar mendapatkan hasil analisis kimiawi yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

Akbary, M.K. Al (2021) "Sistem Monitoring Kebocoran Gas SF6 Pada Sistem GIS menggunakan Modul LoRa Berbasis IoT," *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.33795/jtia.v4i2.2853.

Alquraish, M. (2025) "Digital Transformation, Supply Chain Resilience, and Sustainability: A Comprehensive Review with Implications for Saudi Arabian Manufacturing," *Sustainability* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.3390/su17104495.

Antad, S. *et al.* (2025) "Real-Time Gas Monitoring and Anomaly Detection in Petroleum Industry Using IoT and Machine Learning," *International Journal of Computing and Digital Systems* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.12785/ijcds/1571033021.

Chen, W.-Y. *et al.* (2022) "Thermoelectric Coolers: Progress, Challenges, and Opportunities.," *Small methods* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.1002/smtd.202101235.

Ding, J. *et al.* (2021) "Advanced Thermoelectric Materials for Flexible Cooling Application," *Advanced Functional Materials*, 31. Available at: https://doi.org/10.1002/adfm.202010695.

Fuadi, N. *et al.* (2024) "Design of Gas Leakage Monitoring System Based on Android Application and NodeMCU ESP8266," *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.59934/jaiea.v4i1.585.

Kumaravel, B. *et al.* (2025) "Automated seafood freshness detection and preservation analysis using machine learning and paper-based pH sensors," *Scientific Reports*, 15. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-025-08177-x.

Mandal, S. *et al.* (2025) "IoT-Enabled Solar Powered Temperature and Relative Humidity Monitoring System for Cold Storages," *Journal of Agricultural Engineering (India)* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.52151/jae2025621.1904.

Mao, J., Chen, G. and Ren, Z. (2020) "Thermoelectric cooling materials," *Nature Materials*, 20, pp. 454–461. Available at: https://doi.org/10.1038/s41563-020-00852-w.

Park, S.-J. *et al.* (2023) "Thermoelectric hotspot cooling using thermally conductive fillers," *Applied Thermal Engineering* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120994.

Pateriya, P.K. *et al.* (2021) "IoT-based LPG Gas Leakage Detection and Prevention System," *ICICC 2021: Internet of Things (IoT)* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.2139/ssrn.3884477.

Pratama, F.R. and Saraswati, V. (2023) “Design of Thermoelectric Peltier Effect Demonstrator using Modul TEC-12706 and TEG-SP1848,” *Physics Education Research Journal* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.21580/perj.2023.5.1.12552.

Prayetno, E., Suhendra, T. and Saputra, J.L. (2021) “Monitoring System of The Temperature for Mini Fish Storage using Internet of Things,” *E3S Web of Conferences* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132401011.

Pustaka, T. (2025) “Rancang bangun smart donation box untuk otomatisasi perhitungan dana donasi berbasis iot,” 9(5), pp. 9103–9108.

Rahadyan, R.V., Widyanto, R. and Widiyanto, A. (2025) “IoT integration with water cooler for temperature control automation in arowana ornamental fish aquarium,” *BIS Information Technology and Computer Science* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.31603/bistycs.182.

Siregar, R.F. *et al.* (2024) “Fuzzy Logic Mamdani-Based Simulation of Solanum Lycopersicum Fruit Sorter to Produce High-Quality Fruit Products,” 8(1), pp. 130–140. Available at: https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.11835.

Sutikno, T. *et al.* (2023) “Internet of things with NodeMCU ESP8266 for MPX-5700AP sensor-based LPG pressure monitoring,” *International Journal of Advances in Applied Sciences* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.11591/ijaas.v12.i3.pp257-264.

Syahputra, A. and Maulana, H. (2025) “Design and Construction of Automatic Clothes Drying Rack Prototype Based on IoT (Internet of Things).”

Tanjung, M.I. and Maulana, H. (2024) “Rancang Bangun Keamanan Pintu Ruangan Menggunakan ESP 32 CAM dan Blynk Berbasis Internet of Things.”

Tanjung, S.D.P. (2025) “Penerapan Mikrokontroler Arduino dalam Sistem Pengendalian Temperatur Industri,” *SABER : Jurnal Teknik Informatika, Sains dan Ilmu Komunikasi* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.59841/saber.v3i1.2230.

Wafa, M.A. *et al.* (2023) “Measuring Instruments For Oxygen Concentration, Flow, Temperature, and Humidity In CPAP Equipped With Microcontroller Based External Data Storage,” *Jurnal Teknokes* [Preprint]. Available at: https://doi.org/10.35882/teknokes.v16i3.613.

Yudianto, R. and Yudhana, A. (2022) “Sistem Pemantau Suhu Cooler Box Berbasis Telemetri Dengan Thermoelectric Cooler Sebagai Bakteriostatik Pada Ikan,” *Jurnal ELTIKOM* [Preprint]. Availableat: https://doi.org/10.31961/eltikom.v6i2.551.

Lampiran 1. Codingan Program

```
#include <WiFi.h> #include
<WebServer.h> #include
<OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h> #include
<Wire.h>
#include "Adafruit_SHT31.h"

// --- KONFIGURASI WI-FI ---
const char* ssid = "BAYAM";
const char* password = "12345678";

// --- KONFIGURASI PIN ---
const int pinSSR = 5; const
int pinDS18B20 = 4;

OneWire oneWire(pinDS18B20); DallasTemperature
sensors(&oneWire); Adafruit_SHT31 sht30 =
Adafruit_SHT31(); WebServer server(80);

// --- VARIABEL GLOBAL ---
float suhuDS = 0;
float kelembapanBox = 0; String
statusPeltier = "OFF";
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 2000; // Interval pembacaan 2 detik

// --- HTML DASHBOARD ---
String getHTML() {
       String ptr = "<!DOCTYPE html><html><head><meta name='viewport'
content='width=device-width, initial-scale=1.0'>\n";
ptr += "<title>Smart Coolstorage</title><style>\n";
       ptr += "body{ font-family: sans-serif; text-align: center;
background: #f4f4f4; padding: 20px; }\n";
      ptr += ".card{ background: white; padding: 20px; border-radius:
15px; box-shadow: 0 4px 8px rgba(0,0,0,0.1); max-width: 400px; margin:
auto; margin-bottom: 20px; }\n";
       ptr += ".val{ font-size: 45px; font-weight: bold; color:
#007bff; }\n";
      ptr += ".status{ padding: 10px 20px; border-radius: 20px; color:
white; font-weight: bold; }\n";
ptr += ".on{ background: #28a745; } .off{ background: #dc3545;
}\n";
ptr += "</style><script>\n";
```

```
  ptr                                   +=
                                        "setInterval(function(){
  fetch('/readData').then(r=>r.json()).then(d=>{\n";
  ptr                                                                   +=
  "document.getElementById('tDS').innerHTML=d.tDS+'&deg;C';\n";
  ptr                                                                   +=
  "document.getElementById('hum').innerHTML=d.hBox+'%';\n";
  ptr                                                                   +=
  "document.getElementById('stat').innerHTML=d.status;\n";
           ptr      +=
                    "document.getElementById('stat').className='status
  '+(d.status=='RUNNING'?'on':'off');\n";
  ptr += "});}, 2000);</script></head><body>\n"; ptr +=
  "<h1>Coolstorage Ikan</h1>\n";
          ptr += "<div class='card'><h3>Suhu Air (DS18B20)</h3><p
  id='tDS' class='val'>--&deg;C</p></div>\n";
         ptr += "<div class='card'><h3>Kelembapan Box (SHT30)</h3><p
  id='hum' class='val'>--%</p></div>\n";
          ptr += "<div class='card'><h3>Status Peltier</h3><br><span
  id='stat' class='status off'>OFF</span></div>\n";
  ptr += "</body></html>"; return ptr;
  }

  void handleReadData() {
  // Mengirim data terakhir yang sudah dibaca di loop()
         String json = "{\"tDS\":" + String(suhuDS,1) + ",\"hBox\":"
  + String(kelembapanBox,1) + ",\"status\":\"" + statusPeltier +
  "\"}";
  server.send(200, "application/json", json);
  }

void setup() { Serial.begin(115200); pinMode(pinSSR, OUTPUT);
  digitalWrite(pinSSR, LOW);

  sensors.begin();

   if (!sht30.begin(0x44)) {
     Serial.println("SHT30 tidak ditemukan!");
     }

     WiFi.begin(ssid, password);
              while    (WiFi.status()   !=   WL_CONNECTED)
              {        delay(500); Serial.print("."); }
     Serial.println("\nIP: " + WiFi.localIP().toString());
```

```
      server.on("/", [](){ server.send(200, "text/html", getHTML());
});
      server.on("/readData", handleReadData);
      server.begin();
    }

    void loop() {
      server.handleClient();

      unsigned long currentMillis = millis();
      if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;

        // 1. Baca Sensor DS18B20
        sensors.requestTemperatures();
        suhuDS = sensors.getTempCByIndex(0);

        // 2. Baca Sensor SHT30
        float h = sht30.readHumidity();
        if (!isnan(h)) {
          kelembapanBox = h;
        }

        // 3. Logika Otomatisasi SSR Peltier
        if (suhuDS > 4.0 && suhuDS < 80.0) {
          digitalWrite(pinSSR, HIGH);
          statusPeltier = "RUNNING";
        }
        else if (suhuDS <= 1.0 && suhuDS > -50.0) {
          digitalWrite(pinSSR, LOW);
          statusPeltier = "STANDBY";
        }

        // Debug ke Serial Monitor
        Serial.print("Suhu: "); Serial.print(suhuDS);
        Serial.print(" | Hum: "); Serial.print(kelembapanBox);
        Serial.print(" | SSR: "); Serial.println(statusPeltier);
      }
    }
```