

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

Muhammad Fahrurrozi Nasution
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
E-mail: rozi36838@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang inovasi dalam sistem penyimpanan hasil perikanan, khususnya untuk menjaga kualitas ikan segar selama proses distribusi dan penyimpanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan Smart CoolStorage Portable berbasis IoT terhadap optimalisasi kualitas penyimpanan ikan segar melalui sistem monitoring suhu dan kelembapan secara real-time menggunakan mikrokontroler ESP32 dan platform Thinger.io. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi. Sistem dilengkapi sensor suhu dan kelembapan yang terhubung dengan ESP32 untuk mengirimkan data secara daring ke platform Thinger.io sehingga kondisi penyimpanan dapat dipantau secara langsung melalui perangkat digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Smart CoolStorage Portable mampu melakukan monitoring kondisi penyimpanan secara stabil dan akurat dengan pengiriman data real-time. Pengendalian suhu yang optimal berpengaruh terhadap kualitas ikan segar dengan memperlambat proses pembusukan dan menjaga kesegaran ikan selama penyimpanan. Selain itu, penggunaan platform Thinger.io mempermudah pengguna dalam melakukan pemantauan jarak jauh serta meningkatkan efisiensi pengelolaan penyimpanan ikan. Dengan demikian, penerapan teknologi IoT pada sistem pendingin portabel dapat menjadi solusi inovatif dalam mendukung kualitas dan ketahanan produk perikanan. **Kata Kunci** — Internet of Things (IoT), Smart CoolStorage Portable, ESP32, Thinger.io, Monitoring Real-Time, Ikan Segar.

PENDAHULUAN

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.

METODE 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 Thingier.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 (Thingier.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 Thingier.io agar informasi kualitas ikan dapat diterima secara real-time oleh pengguna.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Sistem Smart Coolstorage Portabel

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 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 iklim mikro (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.

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)

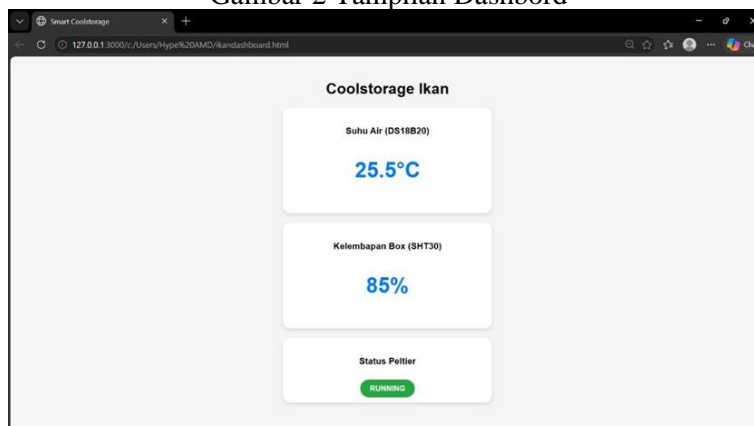
Sistem ini mengimplementasikan Web Server yang tertanam langsung pada mikrokontroler ESP32 menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan JavaScript yang disematkan dalam fungsi `getHTML()`. Antarmuka ini dirancang agar pengguna dapat memantau data secara langsung di lokasi melalui jaringan Wi-Fi "BAYAM" 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 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 iklim 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 1 Hasil Verifikasi Aliran Data dan Sinkronisasi Antarmuka

Platform	Data	Selisih	Status
Monitoring	Teramati	(Error)	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

B. Pengujian dan Kalibrasi Sensor (Validasi Data)

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 3 Posisi Penempatan Sensor Di Dalam Box



Tabel 2 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 (Kelembapan BOX)	SCL (Kuning)	GPIO 22	Jalur I2c Clock
	SDA (Putih)	GPIO 21	Jalur I2c Data
	VCC (Merah)	3.3 V	Tegangan Kerja
	GND (hitam)	GND	Ground

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 Posisi Penempatan Peltier TEC1-12706 Dan Panel Box



- 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.
- 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.
- Mekanisme Kontrol Daya (SSR): Arus listrik searah (DC) dari baterai menuju Peltier diatur oleh Solid State Relay (SSR) 50A yang berfungsi sebagai saklar elektronik. SSR ini menerima sinyal kendali dari ESP32 untuk memutus atau menghubungkan arus berdasarkan ambang batas suhu yang telah ditentukan dalam program.
- 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 3 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

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:

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

Keterangan:

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

$t_{network}$: 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:

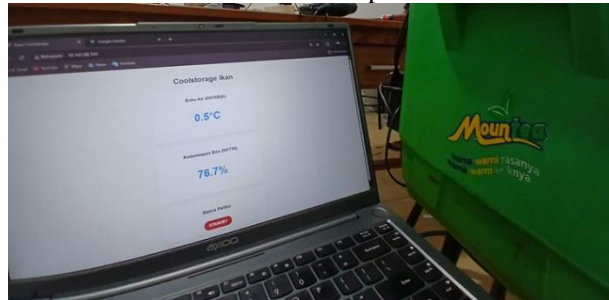
- a. Widget Suhu Air: Menampilkan data dari sensor DS18B20 yang berhasil mencapai titik terendah pada 0,5 °C saat kondisi stabil.
- b. Widget Kelembapan: Menampilkan tren peningkatan kelembapan udara di dalam box yang mencapai 76,7% seiring dengan proses pendinginan aktif.
- c. Status Peltier: Menampilkan 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 5 Dashbord Menampilkan Sistem Alert



C. Pengujian dan Kalibrasi Sensor (Validasi Data)

1. Analisis Akurasi Pembacaan Sensor Termal

Gambar 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:

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

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

1) Perhitungan Akurasi Sensor SHT30-D (Suhu Udara)

a. Data Terukur (T_{sensor}) : 3,5° C

b. Refrensi (T_{ref}) : 3,4 C

Perhitungan

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

2) Perhitungan Akurasi Sensor DS18B20 (Suhu Ikan)

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

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

Perhitungan

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

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

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 Thingier.io. Fokus utama adalah mengukur konsistensi nilai lokal dibandingkan dengan nilai pada antarmuka web serta waktu tunda (latency).

Tabel 4 Konektivitas dan Sinkronisasi Data Riil

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

Berdasarkan Tabel 4, 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

D. 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.

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:

- Suhu Awal (T_0): 14,3 °C (Kondisi es batu baru dimasukkan).
- Suhu Akhir (T_t): 1,6 °C (Kondisi stabil awal).
- Waktu Tempuh (Δt): 20 Menit.

Hitungan Laju Pendinginan:

$$V_t = \frac{T_0 - T_t}{\Delta t} = \frac{14,3 - 1,6}{20} = 0,635^\circ\text{C}/\text{menit}$$

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.

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 5 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.

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:

- 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.
- 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";
    }
  }
}
```

E. 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.

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.

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 6 Validasi Sistem Monitoring dan Peringatan Dini

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

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 otomatisasi histeresis (1,0 °C – 4,0°C) berhasil menjaga stabilitas termal sekaligus mengoptimalkan penggunaan daya baterai VRLA 25Ah.

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>. pp. 130–140. Available at: <https://doi.org/10.31289/jesce.v6i2.11835>.
- 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),
- 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 Telemetry Dengan Thermoelectric Cooler Sebagai Bakteriostatik Pada Ikan," Jurnal ELTIKOM [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.31961/eltikom.v6i2.551>.