Rancang Bangun Sistem Kendali Aliran Refrigeran Berbasis IoT Pada Prototipe *Cold Storage*

Rayval Gumilar[1], Wirenda Sekar Ayu[2], Muhammad Akmal[3], Yedi Wiguna[4]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : rayval.gumilar.tptu23@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : wirendasekar@polban.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : muhammad.akmal@polban.ac.id
[4]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : yedi.wiguna@polban.ac.id

ABSTRAK

Pemahaman mengenai mekanisme distribusi refrigeran pada sistem cold storage tipe multi-room seringkali terkendala oleh minimnya alat peraga visual. Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem kendali otomatis solenoid valve pada prototipe cold storage dan anteroom, serta mengembangkan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk menggantikan fungsi termostat mekanik konvensional. Sensor SHT20 dan SHT31 digunakan untuk membaca suhu ruang dan memicu modul relay dalam mengatur status aktuator berdasarkan batas setpoint. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras dan kontrol telah berfungsi sesuai dengan rancangan. Infrastruktur IoT yang dibangun mampu menampilkan data suhu serta status aktuator. Sistem ini juga dapat menjalankan instruksi setpoint, melalui integrasi tersebut, aliran refrigeran dapat didistribusikan secara otomatis mengikuti batas suhu yang telah ditentukan, yaitu dengan mengeksekusi aktuator secara tepat pada target setpoint 4–7°C untuk ruang cold storage dan 15–17°C untuk ruang anteroom. Dengan demikian, prototipe ini dapat digunakan untuk menyimulasikan logika kendali sistem refrigerasi dan memfasilitasi pemantauan jarak jauh.

Kata kunci:
Prototipe *Cold storage*, ESP32, *Solenoid Valve*, *Monitoring* IoT

ABSTRACT

Understanding the mechanism of refrigerant distribution in multi-room cold storage systems is often hindered by the limited availability of visual teaching aids. This research aims to design and build an automatic solenoid valve control system for a cold storage and anteroom prototype, as well as develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring system. This system uses an ESP32 microcontroller to replace the function of a conventional mechanical thermostat. SHT20 and SHT31 sensors are used to read room temperature and trigger the relay module in regulating actuator status based on the setpoint threshold. The test results show that the integration of hardware and control has functioned according to the design. The IoT infrastructure built is able to display temperature data and actuator status. The system can also execute setpoint instructions; through this integration, refrigerant flow can be automatically distributed following the predetermined temperature limits, precisely executing the actuator at the target setpoint of 4–7°C for the cold storage room and 15–17°C for the anteroom. Thus, this prototype can be used to simulate the control logic of a refrigeration system and facilitate remote monitoring.

Keywords:
Prototype Cold Storage, ESP32, Solenoid Valve, IoT Monitoring

1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi, khususnya *cold storage,* memiliki peran krusial dalam rantai pasok untuk menjaga kualitas produk yang sensitif terhadap suhu. Salah satu konfigurasi yang umum namun memiliki tantangan teknis tersendiri adalah sistem *multi-room,* dimana satu unit kompresor digunakan untuk mendinginkan dua ruangan dengan kebutuhan suhu berbeda. Dalam praktiknya, pemahaman mengenai mekanisme distribusi refrigeran pada sistem seperti ini seringkali sulit dipahami oleh mahasiswa atau teknisi pemula karena sistem pemipaan dan kelistrikan pada unit industri tertutup dan kompleks. Ketiadaan media pembelajaran visual yang mampu menyimulasikan bagaimana aliran refrigeran diatur secara bergantian ke setiap ruangan menjadi kendala dalam proses pembelajaran di bidang teknik refrigerasi.

Secara konvensional, pengaturan suhu pada sistem ini menggunakan rangkaian mekanik yang cukup banyak komponen untuk disimulasikan dalam skala kecil. Namun, dengan kemajuan teknologi mikrokontroler seperti ESP32, logika kendali tersebut dapat disederhanakan dan diprogram ulang untuk keperluan simulasi. Mikrokontroler dapat difungsikan sebagai pusat kendali pengganti termostat yang membaca data suhu dari sensor, kemudian menetapkan kapan harus membuka atau menutup jalur refrigeran melalui solenoid valve. Pendekatan ini memungkinkan pembuatan sistem kendali yang lebih fleksibel untuk mendemonstrasikan logika "buka-tutup" aliran pendingin dan pemantauan jika terjadi anomali pada data.

Berdasarkan kebutuhan akan alat peraga tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sistem kendali otomatis solenoid valve pada sebuah prototipe cold storage dan anteroom. Sistem ini dirancang fokus pada pengaturan solenoid valve berbasis pembacaan sensor suhu SHT20 dan SHT31. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk memvisualisasikan perubahan suhu dan merekam log data historis (1).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian sejenis telah dilakukan sebelumnya, di antaranya sistem monitoring suhu dan kelembaban pada pabrik es balok berbasis ESP32 dan sensor SHT20 (2), sistem kontrol suhu presisi berbasis Arduino Uno dengan inverter pada Cold Handling Unit (3), serta sistem kendali suhu gudang penyimpanan ikan berbasis IoT menggunakan Arduino (4). Berbeda dari penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada distribusi refrigeran pada dua zona dengan target suhu berbeda (cold storage dan anteroom) menggunakan aktuator solenoid valve yang dieksekusi langsung oleh ESP32.

2.1 Mikrokontroler ESP32

Bentuk fisik mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. ESP32

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer fungsional yang dikemas dalam sebuah keping terpadu atau Integrated Circuit (IC). Berbeda dengan mikroprosesor pada komputer konvensional yang hanya berfungsi sebagai unit pemroses pusat (CPU), mikrokontroler mengintegrasikan beberapa komponen vital dalam satu chip, yaitu unit pemroses utama (CPU), memori (RAM dan ROM/Flash), serta antarmuka Input/Output (I/O). Integrasi ini memungkinkan mikrokontroler untuk menjalankan fungsi kontrol secara mandiri tanpa memerlukan komponen eksternal yang kompleks, menjadikannya komponen utama dalam sistem tertanam (Embedded System) untuk mengendalikan perangkat keras secara otomatis.

Salah satu pengembangan mutakhir dalam teknologi mikrokontroler adalah ESP32 yang dikembangkan oleh Espressif Systems. ESP32 adalah penerus dari seri ESP8266 yang populer, dirancang sebagai System on Chip (SoC) berbiaya rendah dan hemat daya dengan kemampuan konektivitas yaitu Wi-Fi yang terintegrasi (5). Perangkat pengendali utama yang digunakan adalah modul pengembangan berbasis ESP32 dengan spesifikasi konfigurasi memori N16R8. Kode penamaan ini merujuk pada kapasitas penyimpanan dan memori sementara yang jauh lebih besar.

2.2 Relay

Modul *relay* yang digunakan sebagai saklar elektronik pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. *Relay*

Relay adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektromagnet (kumparan/*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar). Prinsip kerja relay memanfaatkan gaya magnet yang dihasilkan oleh kumparan ketika dialiri arus listrik lemah (seperti sinyal dari mikrokontroler) untuk menarik tuas saklar sehingga memutus atau menghubungkan arus listrik yang lebih besar pada sisi *output* (6).

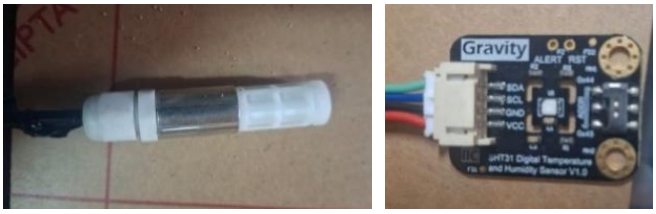
Dalam sistem kendali, relay berfungsi sebagai jembatan isolasi antara rangkaian kontrol berdaya rendah (ESP32 yang bekerja pada tegangan 3,3V/5V) dengan rangkaian beban berdaya tinggi (kompresor dan *solenoid valve* yang bekerja pada tegangan jala-jala PLN atau DC tegangan tinggi). Secara umum, relay memiliki tiga terminal utama pada sisi output:

1. *Common* (COM): Terminal pusat yang selalu terhubung ke sumber tegangan atau beban.

2. *Normally Open* (NO): Kondisi awal saklar terbuka (mati). Aliran listrik baru terhubung ketika Relay aktif.
3. *Normally Closed* (NC): Kondisi awal saklar tertutup (hidup). Aliran listrik terputus ketika relay aktif.

2.3 Sensor SHT20 dan Sensor SHT31

Bentuk fisik kedua sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu SHT20 dan SHT31, ditunjukkan pada Gambar 3.



(a) (b)

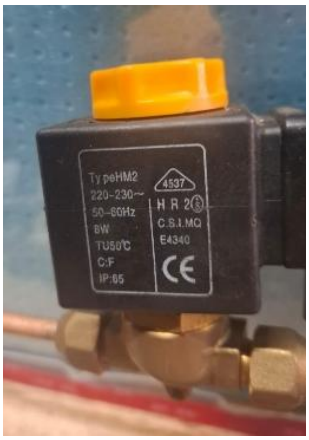
Gambar 3. (a) SHT20, (b) SHT31

Sensor SHT20 merupakan instrumen digital pengukur suhu yang diproduksi menggunakan teknologi CMOSens®. Perangkat ini telah terkalibrasi secara pabrikan dan memiliki sirkuit pemroses sinyal internal yang mengubah besaran fisik menjadi sinyal digital, sehingga menghasilkan pembacaan yang minim *noise*. Secara spesifikasi teknis, SHT20 beroperasi pada rentang pengukuran suhu mulai dari -40°C hingga 125°C dengan tingkat akurasi ±0,3°C (7). Modul SHT20 yang digunakan memiliki konstruksi fisik berupa selongsong pelindung (*probe*) kedap air (*waterproof*). Secara teoritis, penggunaan pelindung ini diwajibkan untuk penempatan pada lingkungan bersuhu rendah seperti cold storage. Pelindung tersebut berfungsi untuk mencegah embun menempel langsung pada chip sensor yang dapat memicu korosi atau galat (error) pembacaan.

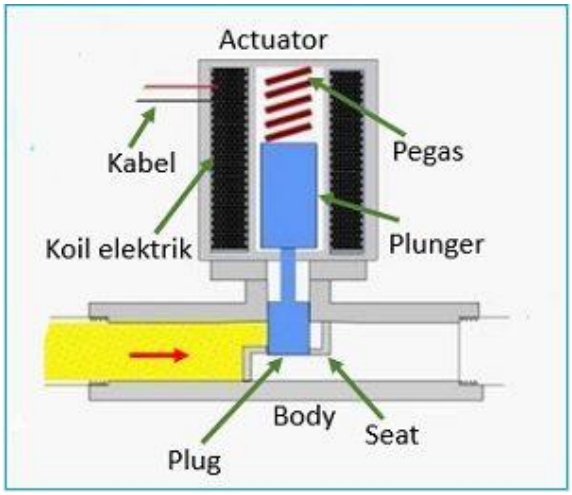
Sementara itu, sensor SHT31 merupakan instrumen pengukur suhu digital yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi, yakni ±0,2°C (8). Sensor ini menggunakan teknologi *gap band temperature sensor* yang terintegrasi dalam satu *chip* untuk menjaga stabilitas pembacaan jangka panjang. Modul SHT31 tipe standar (tanpa selongsong kedap air) dinilai memadai untuk diaplikasikan pada ruangan seperti *anteroom* dikarenakan tingkat risiko pembentukan embunnya yang relatif lebih rendah dibandingkan *cold storage*. Dalam penerapannya, kedua sensor ini menggunakan protokol komunikasi serial *Inter-Integrated Circuit* (I2C) sehingga dapat dihubungkan ke mikrokontroler pada jalur yang sama.

2.4 Solenoid Valve

Solenoid Valve adalah katup elektromekanikal yang berfungsi untuk mengontrol arah dan aliran fluida (cairan atau gas) secara otomatis menggunakan prinsip elektromagnetik. Berbeda dengan katup mekanik konvensional yang memerlukan interaksi fisik manusia, *solenoid valve* beroperasi menggunakan sinyal listrik tegangan rendah hingga menengah, sehingga sangat ideal untuk diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui modul saklar seperti relay. Dalam kondisi normal (*normally closed*), pegas akan menekan plunger ke bawah sehingga jalur pipa tertutup rapat. Ketika *solenoid coil* dialiri arus listrik (*energized*), aliran elektron pada kumparan kawat tersebut akan menciptakan medan magnet. Gaya tarik dari medan magnet ini cukup kuat untuk melawan daya dorong pegas, sehingga menarik plunger ke atas. Terangkatnya plunger menyebabkan katup utama terbuka, sehingga refrigeran dapat mengalir dengan cepat melalui saluran. Sebaliknya, ketika arus listrik diputus (*de-energized*), medan magnet pada kumparan akan hilang seketika. Tanpa adanya gaya tarik magnet *plunger* kembali turun menutup lubang aliran (10).



Gambar 4. *Solenoid Valve*



Gambar 5. Posisi Plunger *Solenoid Valve* (9)

Solenoid valve yang digunakan sebagai aktuator pengatur aliran refrigeran ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan mekanisme posisi plunger-nya digambarkan pada Gambar 5.

2.5 Kontaktor Magnetik

Gambar 6. Kontaktor Magnetik

Komponen kontaktor magnetik yang digunakan pada rangkaian daya kompresor ditunjukkan pada Gambar 6. Kontaktor magnetik adalah perangkat saklar elektromekanik yang dirancang khusus untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik pada sirkuit berdaya tinggi. Secara konseptual, kontaktor memiliki fungsi yang serupa dengan *relay*, namun dirancang dengan material kontak yang lebih tebal dan sistem peredam busur api (*arc suppression*) bawaan (11), sehingga mampu menangani beban induktif berat seperti motor kompresor refrigerasi tanpa mengalami kerusakan kontak. Penggunaan kontaktor diperlukan sebagai bentuk mengoperasikan alat seperti motor listrik dan sebagai proteksi (12).

2.6 Miniature Circuit Breaker

Komponen MCB yang berfungsi sebagai pengaman rangkaian ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7. MCB

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah komponen pengaman elektromekanikal yang berfungsi untuk memutus aliran arus listrik secara otomatis ketika terdeteksi adanya kondisi arus abnormal pada jaringan (13).

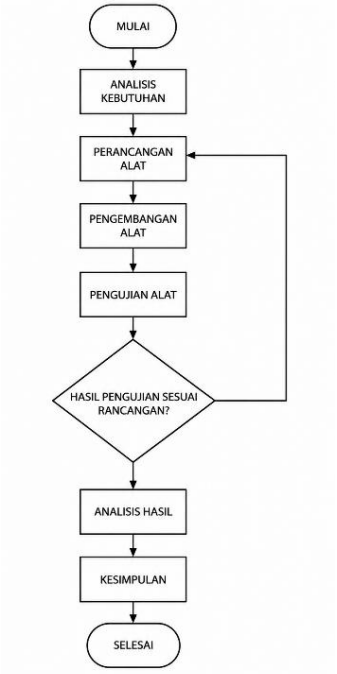
2.7 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep teknologi di mana perangkat keras atau mesin fisik dihubungkan ke jaringan internet agar dapat mengirimkan data dan dipantau dari jarak jauh. Dalam sistem refrigerasi modern, IoT sangat dibutuhkan untuk menggantikan proses pencatatan suhu manual oleh teknisi menjadi sistem pencatatan digital yang otomatis dan berkelanjutan. Dalam ekosistem IoT, perangkat mikrokontroler (ESP32) tidak bisa langsung memasukkan data ke dalam *website*. Keduanya harus dihubungkan menggunakan sistem yang disebut API (*Application Programming Interface*) (14).

3. METODOLOGI

3.1 Tahap Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan penelitian secara umum digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir

Proses diawali dengan analisis kebutuhan sistem, dilanjutkan dengan perancangan dan pengembangan alat, kemudian dilakukan pengujian untuk memverifikasi kesesuaian hasil dengan rancangan. Apabila hasil pengujian belum sesuai, tahapan perancangan alat akan diulang hingga sistem berfungsi sesuai target, sebelum dilanjutkan ke tahap analisis hasil dan penarikan kesimpulan.

3.2 Komponen

Komponen perangkat keras yang digunakan dalam perancangan prototipe ini dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Hardware

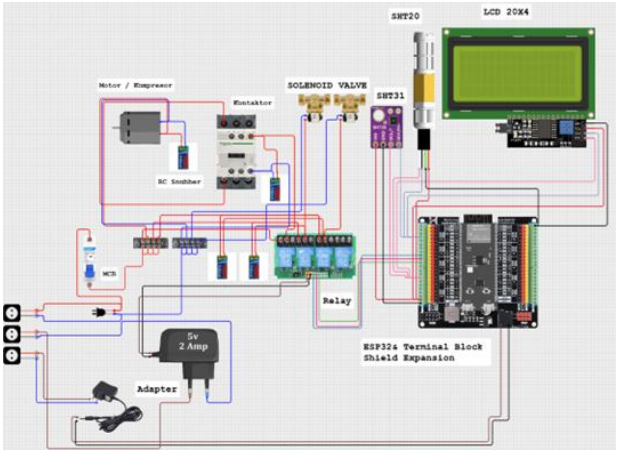
No	Nama Komponen
1	DFRobot Gravity SHT31 Sensor
2	DFRobot SHT20 Sensor (*Waterproof* Probe)
3	Adaptor 5V
4	MCB BROCO 4A
5	LCD 20X4 5V + I2C Module
6	*Relay* Module 5V Optocoupler Isolation
7	Kontaktor LC1D09M7 AC-3 9A, 220V
8	ESP32-S3 N16R8
9	ADAPTOR 12V
10	Shield Expansion for ESP32 S3 Breakout Board
11	RC Snubber

3.3 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras bertujuan untuk mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan komponen dalam satu kesatuan sistem yang fungsional. Perancangan sisi input melibatkan instalasi dua jenis sensor suhu digital yang ditempatkan pada zona yang berbeda:

1. Zona *Cold Storage* (Sensor SHT20)
2. Zona *Anteroom* (Sensor SHT31)

Sensor SHT20 yang digunakan *waterproof* dan juga cocok digunakan di suhu rendah untuk mencegah embun yang terjadi pada sensor.



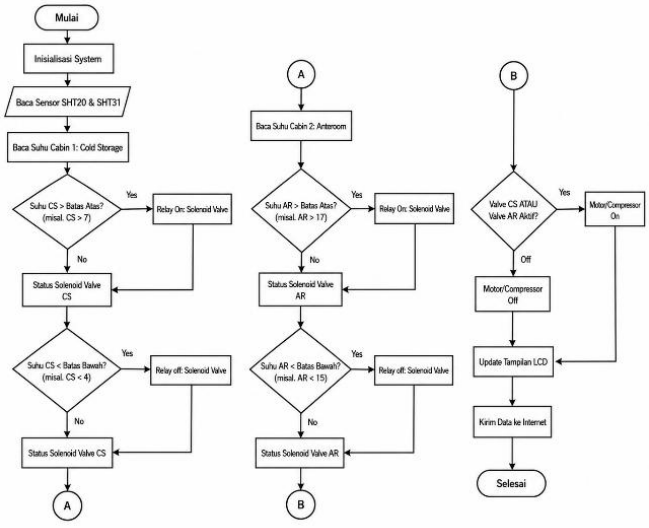
Gambar 9. *Wiring Diagram*

Berdasarkan wiring diagram, integrasi antar komponen dirancang dengan penjelasan jalur sebagai berikut:

1. Jalur Catu Daya (*Power Supply*): Sistem dirancang menggunakan catu daya ganda untuk memisahkan beban mikrokontroler dan beban mekanik relay. Adaptor DC 12V 1A digunakan untuk menyuplai daya ke *Expansion Board* ESP32 (sekaligus menyuplai LCD dan Sensor), sedangkan Adaptor DC 5V 2A untuk memberikan daya pada Modul relay 4-*Channel*.
2. Jalur *Input* (Sensor): Sensor SHT20 dan SHT31 dihubungkan secara paralel menggunakan jalur komunikasi I2C menuju mikrokontroler. Keduanya menggunakan sumber tegangan 3,3V dari *expansion board*.
3. Jalur *Output* (Sirkuit Kontrol): Pin GPIO dari ESP32 dihubungkan ke pin *input* modul relay. Modul relay ini berfungsi sebagai saklar elektronik pemutus dan penyambung tegangan jala-jala (AC 220V).
4. Jalur Beban dan Proteksi (Sirkuit Daya): *Miniature Circuit Breaker* (MCB) dipasang sebagai pengaman utama pada jalur masuk AC 220V untuk mendistribusikan dan memutus arus jika terjadi gangguan korsleting pada seluruh beban sistem, baik itu komponen sistem kontrol, *solenoid valve*, maupun kompresor. Relay 1 tidak terhubung langsung ke kompresor, melainkan digunakan untuk memicu *coil* (A1-A2) pada kontaktor magnetik Schneider. Kontaktor inilah yang bertugas menahan beban arus *starting* kompresor yang besar sehingga mikrokontroler tetap aman. Relay 2 dan 3 mengatur aliran listrik secara langsung untuk membuka dan menutup *solenoid valve* di ruangan *cold storage* (CS) dan *anteroom* (AR).

3.4 Perancangan Logika Kendali

Alur logika kendali yang dijalankan mikrokontroler digambarkan pada diagram alir Gambar 10, dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 10. Diagram Alir Sistem

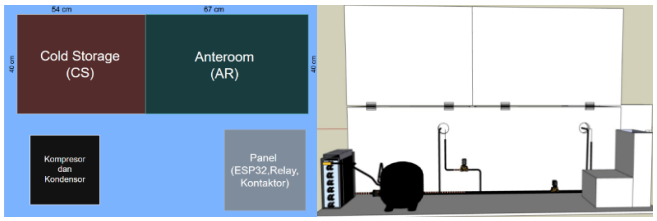
1. Program dimulai dengan melakukan konfigurasi awal terhadap seluruh modul, yang meliputi pengaktifan jalur komunikasi I2C untuk sensor, LCD dan lainnya.

2. Sistem melakukan pembacaan data dari sensor SHT20 dan SHT31.
3. Nilai suhu pada ruang cold storage dibandingkan dengan ambang batas (setpoint) yang telah ditentukan. Jika suhu melebihi batas atas (upper limit), sistem akan memberikan instruksi untuk mengaktifkan relay solenoid valve kabin 1 (*cold storage*). Sebaliknya, jika suhu telah mencapai atau berada di bawah batas bawah (lower limit), sistem akan menonaktifkan Relay tersebut untuk menutup aliran refrigeran.
4. Proses komparasi yang serupa dilakukan pada zona *anteroom*. Mikrokontroler akan membuka atau menutup solenoid valve kabin 2 (*anteroom*).
5. Sistem dirancang dengan logika pengaman untuk operasional kompresor. Mikrokontroler akan memeriksa status kedua *solenoid valve*. Jika salah satu atau kedua katup berada dalam kondisi terbuka (aktif), maka relay kontaktor akan diaktifkan untuk menjalankan kompresor. Kompresor hanya akan dinonaktifkan apabila kedua ruangan telah mencapai suhu target dan kedua *solenoid valve* dalam kondisi tertutup.
6. Setelah proses pengambilan keputusan selesai, sistem akan memperbarui tampilan pada layar LCD dan juga data yang berisi nilai suhu, dan status operasional relay dikirimkan ke *database cloud* melalui jaringan internet (15).
7. Setelah seluruh proses *monitoring* selesai, sistem akan kembali memulai siklus secara terus-menerus.

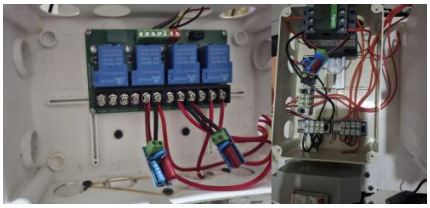
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Prototipe

Hasil perancangan fisik prototipe cold storage dan anteroom ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Design prototipe *cold storage*

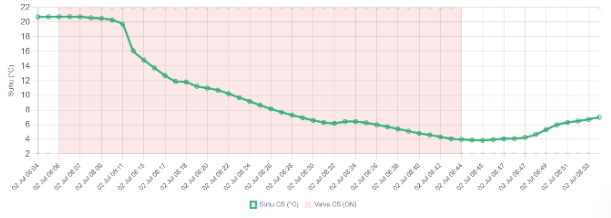


Gambar 12. komponen di dalam boks panel

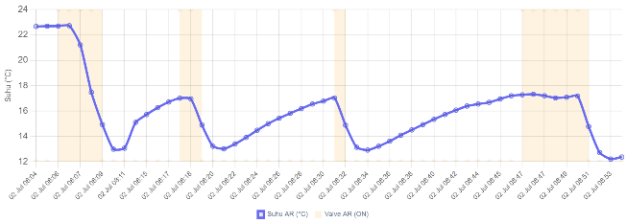
Seluruh komponen elektronik (mikrokontroler ESP32 dan modul relay) serta komponen elektromekanik (kontaktor magnetik dan MCB) diposisikan di dalam boks panel utama. Sementara itu, sensor SHT20, SHT31, dan *solenoid valve* diinstalasi secara mekanikal pada area jalur refrigerasi. Boks panel ditempatkan di sebelah kabin *anteroom* dari prototipe *cold storage*, dari boks panel tersebut kabel terhubung ke *solenoid valve* di sisi *cold storage* juga *solenoid valve* di sisi *anteroom*, dan terhubung juga ke kompresor.

4.2 Hasil Uji Coba *Monitoring* IoT

Subbab ini menjabarkan mengenai hasil uji coba perangkat lunak dalam memantau kondisi yang ada pada prototipe *cold storage*. Pengujian ini dilakukan dengan menerapkan *setpoint* pada program yang ditanam di mikrokontroler ESP32 melalui *dashboard* IoT. Pengaturan *setpoint* untuk kabin pertama, yaitu *Cold Storage* (CS), diatur pada rentang 4°C hingga 7°C. Sementara itu, untuk kabin kedua, yaitu *Anteroom* (AR), *setpoint* diatur pada rentang 15°C hingga 17°C. Hasil pengujian pada rentang suhu tersebut divisualisasikan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Data Suhu & *Valve* (Kabin 1 *Cold Storage*)



Gambar 14. Data Suhu & *Valve* (Kabin 2 *Anteroom*)

Berdasarkan grafik, sistem kendali berbasis ESP32 menunjukkan respons aktuator. Pada kabin 1 *cold storage* (CS) *solenoid valve* berstatus aktif (ditandai dengan area blok berwarna merah) hingga suhu mencapai batas bawah 4°C, dimana sistem kemudian memutus aliran refrigeran. Sementara itu, pada kabin 2 *anteroom* (AR) aktuator beroperasi secara berulang untuk mempertahankan suhu ruang, yakni berstatus

aktif (ditandai dengan area blok berwarna kuning) saat suhu naik menyentuh 17°C dan kembali nonaktif saat suhu turun ke angka 15°C. Adanya sedikit penurunan suhu di bawah batas *setpoint* pada grafik AR merupakan karakteristik termal alami akibat sisa pendinginan. Data perekaman IoT ini mengonfirmasi bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak telah mengatur distribusi aliran refrigeran secara otomatis sekaligus memfasilitasi pemantauan suhu dan aktuator. Suhu awal pada kedua ruangan pengujian berbeda, yaitu sekitar 20,5°C pada Cold Storage dan 22,7°C pada Anteroom. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik kalibrasi masing-masing sensor (SHT20 pada kabin 1 *cold storage* dan SHT31 pada kabin 2 *Anteroom*) yang memiliki toleransi pembacaan berbeda. Ruang Cold Storage membutuhkan waktu sekitar 40 menit untuk mencapai suhu setpoint bawah, sedangkan ruang Anteroom mencapai setpoint bawahnya lebih cepat, yaitu sekitar 7 menit. Pengujian dilakukan selama ±49 menit dengan pengambilan data suhu setiap 1 menit, menghasilkan data yang divisualisasikan pada Gambar 13 dan Gambar 14.

Hasil pemantauan suhu dan status aktuator secara jarak jauh selama pengujian ditampilkan pada Gambar 13 dan Gambar 14, yang menunjukkan bahwa data dari kedua ruangan dapat terekam dan dipantau melalui sistem IoT yang telah dibangun.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengimplementasikan sistem kendali aliran refrigeran berbasis *Internet of Things* (IoT) pada prototipe *cold storage*. Mikrokontroler ESP32 menjalankan fungsi termostat dengan mengeksekusi aktuator *solenoid valve* berdasarkan logika batas suhu yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu memutus dan mengalirkan refrigeran saat suhu ruangan menyentuh ambang batas bawah maupun batas atas *setpoint*. Selain itu, infrastruktur IoT memfasilitasi pemantauan jarak jauh dengan menampilkan pergerakan suhu serta status operasional aktuator. Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak pada purwarupa ini dapat difungsikan sebagai instrumen pemantauan kendali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah membantu pendanaan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abidin HA, Z R. Sistem monitoring suhu berbasis IoT dengan sensor thermocouple dan pelaporan otomatis menggunakan Google Sheets pada ruang cold storage. 2025 Nov 5. Available from: https://ejournal.itn.ac.id/jati/article/view/15495
2. La Jumani AH, Sarita MI, Aksara LF, Isnawaty, Aksara LB. Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kelembaban pada pabrik pembuatan es balok menggunakan sensor SHT20 berbasis Android. semanTIK. 2022;8(2):201–8.
3. Fauza MA, Falahuddin MA, Prasetyo BY, Utari L. Rancang bangun sistem kontrol suhu presisi berbasis Arduino Uno dengan inverter pada Cold Handling Unit. In: Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS). Bandung: Politeknik Negeri Bandung; 2025.
4. Perdana FY, Budiarso Z. Rancang bangun sistem kendali suhu pada gudang penyimpanan ikan menggunakan Arduino berbasis IoT. Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi). 2024;8(1):121–8.
5. Espressif. ESP32-S3 ESP-Dev-Kits Documentation [Internet]. 2025. Available from: https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32s3/index.html
6. Kho D. Pengertian relay dan fungsinya [Internet]. teknikelektronika.com. 2026 Aug 5 [cited 2026 Aug 5]. Available from: https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/
7. DFRobot. SHT20 I2C Temperature & Humidity Sensor Waterproof Probe [Internet]. [cited 2026 Aug 5]. Available from: https://wiki.dfrobot.com/sen0227/
8. DFRobot. Gravity: SHT31-F Temperature and Humidity Sensor [Internet]. [cited 2026 Aug 5]. Available from: https://wiki.dfrobot.com/sen0334/
9. Dirgantara Lapan. Solenoid valve: pengertian, fungsi, dan cara kerjanya [Internet]. 2023 Oct 5. Available from: https://dirgantara-lapan.or.id/apa-itu-solenoid-valve/
10. AlvinDocs. Solenoid valve: penggunaan, cara kerja, dan pemeliharaan [Internet]. 2025 Nov 26. Available from: https://www.alvindocs.com/blog/solenoid-valve-penggunaan-cara-kerja-dan-pemeliharaan
11. Hokione. Apa fungsi kontaktor? Untuk apa menggunakannya? [Internet]. 2025 Dec 10. Available from: https://www.hokione.id/blog/apa-fungsi-kontaktor
12. Institut Teknologi Padang. Bahan ajar rangkaian kendali: kontaktor magnetik [Internet]. [cited 2026 Aug 5]. Available from: https://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/BahanAjar/Al/Bahan%20Ajar%20Terseleksi%20T.Kendali/suplemen.pdf
13. Kho D. Pengertian MCB (Miniature Circuit Breaker) dan prinsip kerjanya [Internet]. teknikelektronika.com. [cited 2026 Aug 5]. Available from: https://teknikelektronika.com/pengertian-mcb-miniature-circuit-breaker-prinsip-kerja-mcb/
14. IBM. What is an API (Application Programming Interface)? [Internet]. [cited 2026 Aug 5]. Available from: https://www.ibm.com/think/topics/api
15. Aurelia N. Konsep cloud dalam sistem Internet of Things (IoT) [Internet]. 2022. Available from: https://www.smartcityindo.com/2022/02/konsep-cloud-dalam-sistem-internet-of.html