

RANCANG BANGUN MESIN *COLD STORAGE* DENGAN SISTEM KOMPRESI UAP BERBASIS IOT

Aripin Triyanto^{*)}, Jan Setiawan, Sunardi dan Agus Kurniawan

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan
Jl. Surya Kencana No.1, Pamulang Barat 15310, Indonesia

^{*)}E-mail: dosen01315@unpam.ac.id

Abstrak

Penyimpanan makanan dalam jangka panjang sering menghadapi permasalahan ketidakstabilan suhu yang disebabkan oleh kerusakan sistem atau *human error*. Ketidakstabilan suhu ini berdampak pada penurunan kualitas dan kelayakan makanan untuk dikonsumsi. Namun, sistem pendingin konvensional umumnya belum dilengkapi sistem monitoring *real-time* yang efektif, sehingga pengawasan kondisi suhu dan kelembaban tidak optimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancangan mesin pendingin berbasis sistem kompresi uap yang dilengkapi fitur *Internet of Things* (IoT) sebagai sistem monitoring suhu dan kelembaban secara *real-time*. Proses penelitian meliputi perancangan dimensi, desain ruangan, serta pengujian kestabilan suhu dalam ruang penyimpanan makanan. Pemantauan suhu dilakukan menggunakan sensor yang terhubung ke platform IoT, sehingga data kondisi suhu dan kelembaban dapat diakses kapan saja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu minimum sebelum sistem beroperasi berkisar antara 31°C hingga 31,8°C. Setelah sistem bekerja, suhu rata-rata ruang penyimpanan dapat dijaga stabil di sekitar 5°C. Data hasil monitoring menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan suhu dengan baik serta mendukung efisiensi energi. Dengan penggunaan bahan bekas dalam konstruksi, sistem ini tidak hanya hemat biaya, tetapi juga memberikan solusi inovatif sebagai media pendingin makanan yang hemat energi dan ramah lingkungan.

Kata kunci: media pendingin, cold storage, kompresi uap, iot, suhu

Abstract

Long-term food storage often faces issues of unstable temperatures caused by system malfunctions or human error. This temperature instability affects the quality and safety of food for consumption. However, conventional cooling systems are generally not equipped with effective real-time monitoring systems, resulting in suboptimal supervision of temperature and humidity conditions. To address these problems, this research proposes the design of a cooling machine based on a vapor compression system equipped with an Internet of Things (IoT) feature for real-time temperature and humidity monitoring. The research process includes dimension design, room layout planning, and testing the temperature stability within the food storage space. Temperature monitoring is carried out using sensors connected to an IoT platform, allowing temperature and humidity data to be accessed anytime. Research results indicate that the minimum temperature before the system operates ranges between 31°C and 31.8°C. After the system runs, the average storage temperature can be maintained at approximately 5°C. Monitoring data shows that the system is capable of maintaining good temperature stability while also supporting energy efficiency. By utilizing recycled materials in the construction, this system is cost-effective and provides an innovative solution as an energy-efficient and environmentally friendly food cooling system.

Keywords: cooling medium, cold storage, vapor compression, iot, temperature

1. Pendahuluan

Fenomena global menunjukkan bahwa kebutuhan akan teknologi penyimpanan makanan dingin atau cold storage terus meningkat seiring berkembangnya industri pangan, farmasi, hingga logistik rantai dingin (*cold chain logistics*) [1][2]. Sistem *cold storage* memegang peranan penting dalam menjaga kualitas dan keamanan produk selama masa simpan. Namun, dibalik manfaatnya, penggunaan *cold storage* sering dihadapkan pada permasalahan konsumsi energi listrik yang sangat tinggi, biaya

operasional yang mahal, serta biaya perawatan yang terus meningkat akibat kompleksitas sistem pendingin yang digunakan [3]. Biaya energi yang terus meningkat memberi tekanan besar pada pelaku industri, terutama UMKM yang bergantung pada fasilitas penyimpanan berpendingin. Ketergantungan pada tenaga ahli untuk pemeliharaan peralatan juga berpotensi memperpanjang *downtime* produksi, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional secara keseluruhan [4][5]. Permasalahan ketidakstabilan suhu akibat kesalahan sistem atau *human error* juga menjadi faktor utama yang

memengaruhi kualitas produk yang disimpan. Ketidakmampuan dalam memantau suhu secara *real-time* menyebabkan operator sulit mendeteksi dini apabila terjadi penyimpangan suhu atau kerusakan pada sistem pendingin, yang berisiko merusak produk dan meningkatkan kerugian ekonomi [6]. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendingin yang tidak hanya hemat energi, tetapi juga mampu melakukan pemantauan dan pengendalian suhu secara otomatis dan *real-time*.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan metode penghematan energi dan pemantauan suhu pada sistem pendingin. Misalnya, penelitian oleh Kim et al. (2017) mengembangkan sistem pengelolaan energi berbasis kontrol suhu adaptif pada *cold storage*, yang mampu mengurangi konsumsi energi hingga 15% namun belum terintegrasi dengan sistem pemantauan jarak jauh [7]. Sementara itu, Thoriq et al. (2022) mengembangkan sistem monitoring suhu berbasis sensor nirkabel pada gudang pendingin, tetapi sistem tersebut hanya memberikan notifikasi tanpa adanya kendali otomatis terhadap perangkat pendingin [8].

Berdasarkan fenomena, permasalahan, serta perkembangan penelitian sebelumnya, maka penerapan teknologi IoT pada sistem *cold storage* industri maupun skala kecil menjadi solusi yang potensial untuk mengatasi permasalahan biaya energi dan ketidakstabilan suhu. Dengan integrasi sensor suhu dan kelembaban yang dikoneksikan melalui IoT, operator dapat melakukan pemantauan dan pengendalian suhu secara jarak jauh, mengurangi risiko kesalahan manusia, serta mengoptimalkan pengoperasian kompresor sesuai kebutuhan suhu ruang [9]. Selain itu, penerapan algoritma kontrol berbasis data *real-time* memungkinkan sistem bekerja lebih efisien dengan menyesuaikan pola kerja kompresor dan kipas, sehingga konsumsi daya listrik dapat ditekan tanpa mengorbankan kualitas produk yang disimpan. Inovasi pengembangan sistem kompresi uap berbasis IoT ini diharapkan tidak hanya mampu mengurangi konsumsi listrik dan biaya operasional, tetapi juga mendukung konsep smart storage system yang adaptif, efisien, dan ramah lingkungan. Dengan pendekatan ini, teknologi pendingin tidak hanya dapat diterapkan pada *cold storage*, tetapi juga dapat diadaptasi pada perangkat rumah tangga lain seperti kulkas, freezer, hingga pendingin ruangan (AC) [9]. Adapun penelitian oleh Rahman et al. (2020) telah mengimplementasikan Internet of Things (IoT) pada sistem pendingin skala kecil menggunakan platform Arduino dan Blynk, yang memungkinkan pemantauan suhu secara *real-time* melalui aplikasi seluler [10]. Namun, penerapan ini masih terbatas pada skala rumah tangga dan belum optimal dalam integrasi kontrol kompresor untuk penghematan energi yang signifikan.

2. Metode

Berdasarkan referensi dari peneliti terdahulu dan kajian ilmiah yang diterbitkan mengenai pendingin *cold storage* dan IoT mengenai sensor suhu dan kelembaban ruangan, maka dapat dikaji melalui ulasan beberapa penelitian.

Solusi dari permasalahan pemantauan kualitas dan kuantitas makanan pada fasilitas *cold storage* adalah dengan menggunakan sistem IoT murah menggunakan metode berbasis IoT dan menggunakan sensor gas MQ4 dan sensor UV untuk menghitung jumlah makanan. Model yang diuji dalam percobaan ini mendeteksi kuantitas makanan dengan sangat akurat dan juga memberikan peringatan tepat waktu ketika makanan menjadi busuk. Penelitian ini menunjukkan betapa efektifnya sistem ini dalam mengelola kualitas dan kuantitas makanan di *cold storage* [11] [12].

Sistem berbiaya rendah yang dapat menjaga keamanan dan mutu pangan dan hasil panen dengan memantau dan mengendalikan suhu dan kelembaban pada *cold storage* secara otomatis menggunakan sensor untuk mengukur suhu dan kelembaban, mikrokontroler, modul catu daya berbasis DC-DC step down converter, kipas pendingin, dan pemantauan dan pengendalian suhu aplikasi merupakan semua aspek pengembangan sistem. Untuk menjamin keakuratan, protokol perangkat keras sistem telah diuji selama tiga bulan berturut-turut [13][14] [15].

Sistem pendingin cerdas berbasis IoT yang menunjukkan kesegaran makanan dan mengurangi pembusukan dengan memberikan solusi terhadap masalah sisa makanan yang memerlukan beberapa komponen antara lain sensor, pengontrol dan pemancar merupakan tiga komponen utama sistem yang akan digunakan dalam penelitian ini. Modul transmisi bekerja sama untuk memeriksa makanan di lemari es dan mengirimkan pemberitahuan kepada pengguna melalui SMS atau email dengan informasi terkini tentang makanan yang mudah rusak. Dengan memberikan informasi status makanan di lemari es secara *real-time*, metode ini bertujuan untuk menjaga kondisi tetap baik dan mengurangi sisa makanan akibat pembusukan [16].

Dalam konteks *cold storage*, sistem IoT memiliki banyak keuntungan, yang mendukung efisiensi, responsivitas, dan pemantauan yang ideal. Pertama, kemampuan pemantauan suhu secara *real-time* sistem ini memungkinkan pengelola *cold storage* untuk mengawasi kondisi penyimpanan produk dengan lebih baik, menemukan perubahan suhu yang signifikan, dan segera melakukan perbaikan. Kelebihan lain adalah kemampuan prediktif sistem dalam menganalisis data dari sensor-sensor. Dengan menggunakan algoritma cerdas, sistem dapat memprediksi tren suhu atau kondisi penyimpanan, memungkinkan pengelola untuk mengantisipasi masalah potensial dan mengambil tindakan preventif sebelum produk rusak.

Meskipun sistem IoT pada penyimpanan dingin memiliki banyak kelebihan, ada beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Pertama, operasi sistem sangat bergantung pada jaringan dan koneksi internet. Gangguan atau kehilangan sinyal dapat mengganggu pemantauan real-time dan respons sistem terhadap perubahan kondisi penyimpanan. Kekurangan kedua adalah implementasi yang sulit dan mahal. Pemasangan dan konfigurasi sensor-sensor, serta infrastruktur IoT, membutuhkan banyak uang pada awalnya.

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan rancangan mesin *cold storage*, membuat *stand*, memasang alat pendingin, menguji kinerja dan pengaruh beban pendinginan material, suhu dan waktu dari penelitian yang dilakukan.

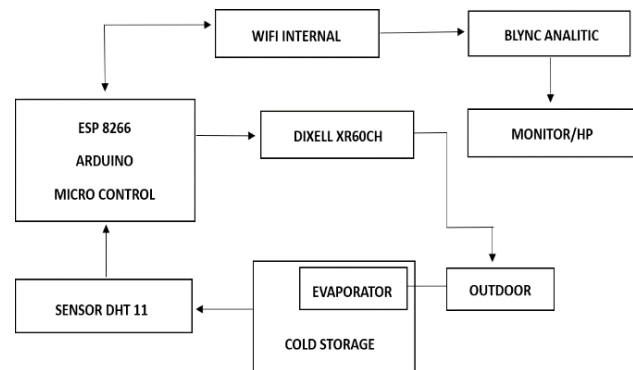
Peralatan yang digunakan dalam perancangan dan implementasi mesin *cold storage* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komponen peralatan penelitian

No	Komponen	Spesifikasi			Qty	Sat.	Ket
		P(cm)	L(cm)	T(cm)			
1	Fiber Box	46	35	29	1	pcs	-
2	Kondensor	77	44	-	1	pcs	-
3	Triplek	30	50	1	1	lbr	-
4	Kayu	70	4	4	3	pcs	-
5	Besi Hollow	600	3	3	2	pcs	3x3
6	Pipa Kapiler	200 (0,26)	-	-	1	pcs	-
7	Kompresor Panasonic	19	13	17	1	pcs	¼ PK
8	Thermostat Digital	8	3	7	1	pcs	X R60CH
9	Tabung Refrigerant	-	-	-	1	pcs	R-134a 390g
10	Air mineral	-	-	-	3	pcs	350 ml
11	Baut	3	-	-	8	pcs	-
12	Mur	0,1	-	-	8	pcs	-
13	Sekrup	5	-	-	8	pcs	-
14	Paku Kayu Siku	7	-	-	24	pcs	-
15	Aluminium	100	4	4	4	pcs	-

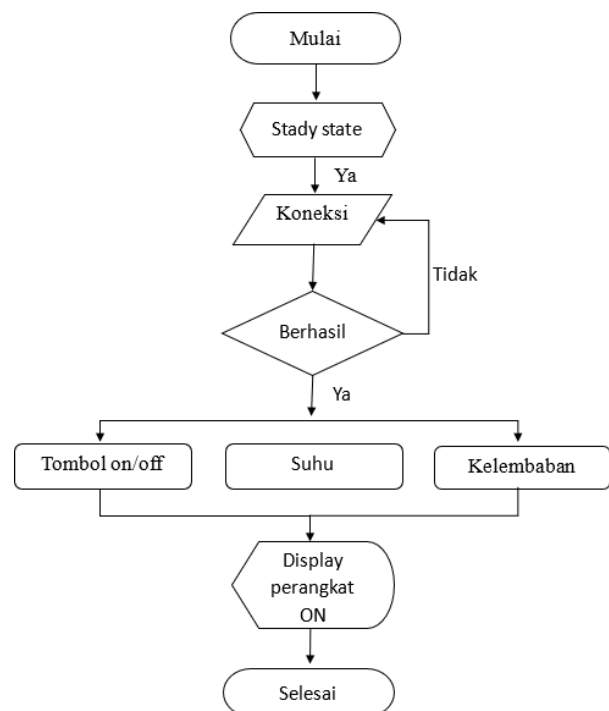
Pada proses perancangan mesin *cold storage* dan pengendalian suhu sistem kompresi uap dilakukan dalam 3 tahap, tahap pertama adalah pembuatan gambar teknik dengan menggunakan aplikasi AutoCad. Tahap pembuatan gambar selesai maka tahap selanjutnya adalah pembuatan mesin *cold storage* sesuai gambar desain yang telah dibuat sebelumnya. Setelah pembuatan mesin selesai dilakukan pengujian fungsi alat, pada tahap ini akan dilihat apakah seluruh bagian alat sesuai dengan gambar yang telah dibuat dan mencapai suhu yang diinginkan yaitu 5°C. Setelah semua alat berfungsi, dilakukan pengumpulan data dengan menggunakan bahan atau muatan berupa air mineral sebanyak 5 sampai 350ml, kemudian dilakukan pengujian lama proses pendinginan produk dan suhu ruang cold

storage mesin. Pengumpulan data diambil dari lokasi penelitian untuk mengumpulkan data produk dan suhu ruangan, kemudian melakukan pemodelan dan simulasi perangkat lunak untuk memperoleh hasil simulasi dan data aktual di lapangan. Gambar 1 merupakan hasil data yang diperoleh dari hasil simulasi dan uji lapangan kemudian diplot untuk melihat nilai efisiensi yang dapat dihasilkan dari pemodelan cold storage.



Gambar 1. Diagram blok penelitian

Cold storage dirancang dengan kontrol dua arah menggunakan aplikasi Blynk dan thermostat Dixell XR60CH. Aplikasi Blynk berfungsi sebagai pemicu *on* unit ke thermostat Dixell XR60CH dan sebagai alat pemantau suhu dan kelembaban di *cold storage*. Thermostat berfungsi sebagai pengatur set point suhu, siklus *defrost*, dan *display* temperature. Aplikasi Blynk juga dapat dilihat dan dipantau melalui perangkat seluler.



Gambar 2. Flowchart penelitian

Pada gambar 2 menggambarkan alur kerja dari sistem *cold storage* berbasis IoT, yang bertujuan untuk mengatur dan memantau kondisi penyimpanan dingin dengan efisien. Proses dimulai dengan mengaktifkan sistem *cold storage*. Setelah itu, sistem melakukan pemeriksaan awal (*study state*) untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik dan siap untuk dioperasikan. Selanjutnya, sistem mencoba melakukan koneksi ke jaringan IoT untuk mengaktifkan fungsionalitas berbasis internet, yang penting untuk memungkinkan pemantauan dan pengaturan jarak jauh. Pada tahap ini, sistem memverifikasi apakah koneksi ke jaringan berhasil atau tidak. Jika koneksi berhasil, sistem melanjutkan ke langkah berikutnya, yaitu menentukan pengaturan melalui tombol on/off, suhu, atau kelembaban. Jika koneksi gagal, sistem akan kembali mencoba melakukan koneksi. Setelah pengaturan dilakukan, perangkat akan menampilkan status on di display dan proses berakhir dengan sistem dalam kondisi siap dan beroperasi.

Hasil desain mesin *cold storage* secara detail, termasuk spesifikasi teknis dan konsep desain secara keseluruhan. Mesin ini dirancang dengan mempertimbangan banyak hal, seperti kapasitas penyimpanan, efisiensi energi, dan keandalan operasional. Melalui gambar ilustrasi, hasil perancangan *cold storage* dapat dilihat pada gambar 3.

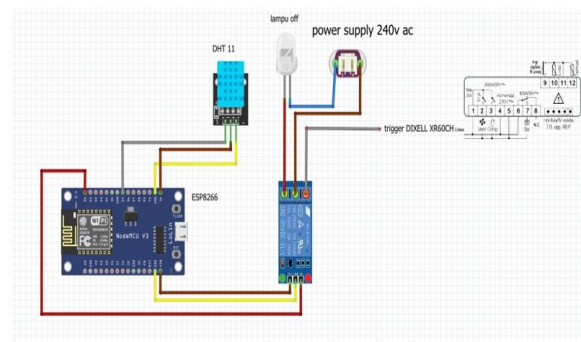


Gambar 3. Desain awal penelitian

Pada tahap perencanaan awal, rangka stand *cold storage* dirancang dengan dimensi tinggi 80 cm, panjang 50 cm, dan lebar 90 cm untuk menjamin kestabilan dan kemampuan menopang *cold storage*. Material yang digunakan adalah besi untuk kekuatan dan ketahanannya sehingga *cold storage* dapat beroperasi secara maksimal dan aman.

Perancangan perangkat keras pada penelitian ini menggunakan komponen-komponen utama yang berfungsi dalam pengoperasian sistem. Komponen pertama adalah Nodemcu ESP8266 sebagai mikrokontroler utama. Nodemcu ESP8266 dipilih karena kemampuannya yang andal dalam mengelola dan mengendalikan semua perangkat dalam sistem melalui konektivitas Wi-Fi, sehingga memungkinkan integrasi dan pemantauan jarak jauh yang efisien. Komponen kedua adalah sensor DHT11 yang berfungsi mengukur suhu dan kelembapan lingkungan secara akurat. Sensor ini memiliki keandalan yang tinggi dan kemampuan memberikan data yang

konsisten, yang sangat penting untuk memastikan kondisi ideal dalam *cold storage*. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengontrol perangkat lain dalam sistem, seperti kompresor atau unit pendingin. Rele ini memungkinkan pengendalian daya yang aman dan efisien, sehingga perangkat dapat beroperasi sesuai kebutuhan tanpa risiko kerusakan. Modul Dixel XR60CH digunakan untuk mengatur suhu di dalam *cold storage*, sehingga suhu dapat dijaga dalam kisaran yang diinginkan untuk menjaga kualitas dan keamanan produk yang disimpan. Seluruh komponen ini dirancang dan diintegrasikan dengan baik untuk memastikan kinerja optimal dan keandalan sistem dalam pengoperasian *cold storage*. Penggunaan perangkat keras dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Wiring diagram penelitian

Desain hardware pada penelitian ini mencakup beberapa komponen utama yang berperan penting dalam mendukung fungsi dan operasional sistem. Komponen pertama adalah Nodemcu ESP8266, yang berfungsi sebagai mikrokontroler utama. Nodemcu ESP8266 dipilih karena kemampuannya yang handal dalam mengelola dan mengontrol seluruh perangkat dalam sistem melalui konektivitas Wi-Fi, memungkinkan integrasi dan pemantauan jarak jauh yang efisien. Komponen kedua adalah sensor DHT11, yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan secara akurat. Sensor ini memiliki keandalan tinggi dan kemampuan untuk memberikan data yang konsisten, yang sangat penting untuk memastikan kondisi ideal dalam *cold storage*. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan perangkat lain dalam sistem, seperti kompresor atau unit pendingin. Relay ini memungkinkan pengendalian daya yang aman dan efisien, memastikan bahwa perangkat dapat beroperasi sesuai kebutuhan tanpa risiko kerusakan. Terakhir, modul Dixel XR60CH digunakan untuk mengatur suhu pada *cold storage*, memastikan bahwa suhu dapat dijaga dalam rentang yang diinginkan untuk menjaga kualitas dan keamanan produk yang disimpan. Semua komponen ini dirancang dan diintegrasikan dengan baik untuk memastikan kinerja optimal dan keandalan sistem dalam operasional *cold storage*.

3. Hasil dan Analisa

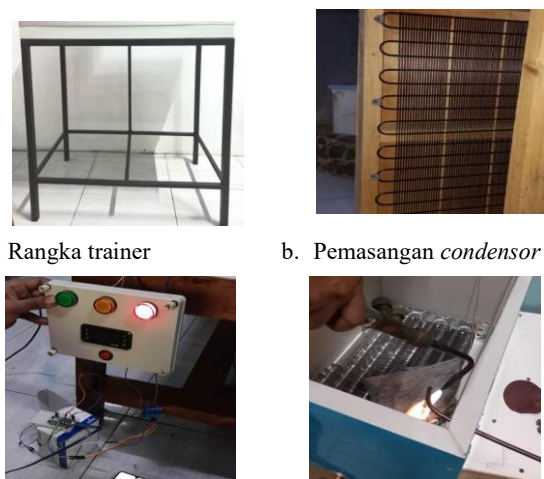
Hasil penelitian pada perancangan mesin *cold storage* dapat dilihat dari tampak depan dan samping. Dapat terlihat dari depan bentuk strukturnya kokoh, sedangkan jika dilihat dari samping desainnya menunjukkan penempatan seluruh komponen yang efisien dan rapi. Gambar 5 dibawah ini merupakan desain akhir dari desain *cold storage*.



a. Unit *cold storage* tampak depan b. Unit *cold storage* tampak samping

Gambar 5. Unit *cold storage*

Progres rancang bangun unit *cold storage* melalui beberapa tahapan seperti uraian pada gambar 6.



a. Rangka trainer b. Pemasangan *condensor*
c. Pengaplikasian *hardware* d. Pemasangan evaporator

Gambar 6. Progres rancangan unit *cold storage*

Pembuatan rangka trainer merupakan langkah pertama dalam pembuatan *cold storage* yang dilakukan dengan memotong dan menyusun untuk membentuk dasar yang kokoh dan stabil. Rangka trainer dirancang dengan cermat dan dipastikan komponen lainnya dapat dipasang dengan benar dan berfungsi dengan baik. Tahap berikutnya

adalah memasang *condensor*, yang berfungsi untuk melepaskan panas yang dihasilkan selama proses pendinginan, dan pemasangannya harus dilakukan dengan cermat untuk memastikan aliran udara yang baik dan mencegah *overheating*. Langkah berikutnya adalah melakukan pemasangan *hardware*, setelah data coding selesai. Semua *hardware* yang telah dirancang sebelumnya dipasang. Untuk memastikan bahwa semua komponen terhubung dan berfungsi dengan baik. Evaporator digunakan untuk menyerap panas dari dalam *cold storage*. Pemasangan evaporator dilakukan dengan presisi untuk memastikan efisiensi pendinginan yang maksimal dan distribusi udara dingin yang merata di seluruh ruang penyimpanan, berikut ini gambar 7 merupakan penggunaan peralatan pada evaporator.



a. Penambahan Freon b. Pengecekan Tekanan

Gambar 7. Pengujian unit *cold storage*

Refrigeran digunakan dalam sistem pendinginan untuk menyerap dan melepaskan panas. Pada proses ini, penambahan dan pengisian freon ditambahkan dengan hati-hati ke dalam sistem dengan mengikuti prosedur yang tepat untuk menghindari kebocoran dan memastikan tekanan yang tepat. Setelah penambahan freon, pengecekan tekanan dalam sistem dilakukan untuk memastikan tidak ada kebocoran dan semua komponen bekerja dengan baik. Pengecekan ini sangat penting untuk menjaga kestabilan dan efisiensi sistem pendingin. Pengunduhan data coding yang diperlukan untuk mengoperasikan *cold storage*. Data coding ini berisi program dan instruksi yang akan mengatur kinerja sistem pendingin secara otomatis, memastikan semua proses berjalan sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

Pemasangan rangka diperhatikan secara menyeluruh. Semua komponen yang telah dipasang sebelumnya digabungkan menjadi satu unit yang utuh. Memastikan seluruh sistem *cold storage* beroperasi sesuai dengan perencanaan. Penyimpanan ruangan yang dingin dengan kompresi uap menunjukkan kinerja optimal dengan suhu stabil 5°C, dapat menjaga makanan tetap segar dan layak dikonsumsi. Sistem yang dirancang lebih efisien dalam menghemat energi dan meminimalkan pembusukan makanan. Sistem pengontrolan nilai suhu dapat dilakukan melalui ponsel, sehingga mudah untuk diakses dan dilakukan perubahan data setting. Untuk memastikan produk tetap segar dan dalam kondisi baik, pengguna dapat memantau suhu penyimpanan produk bahkan tanpa harus

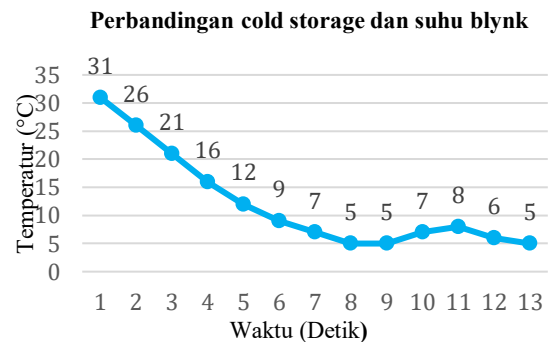
berada di lokasi fisik mesin *cold storage*. Keuntungan lain dari pemantauan suhu melalui ponsel adalah kemampuan merespon perubahan kondisi dengan cepat. Pengguna dapat melihat melalui ponsel jika terjadi kenaikan suhu di *cold storage* meningkat dan segera mengambil tindakan yang diperlukan. Hal ini memungkinkan kontrol suhu yang lebih responsif dan efisien, sehingga mencegah kerusakan pada produk yang disimpan. Pengujian *cold storage* dilakukan dengan cara memasukkan sebuah produk berupa air mineral 350 ml ke dalam unit *cold storage* dengan suhu awal 7°C hingga mencapai suhu 5°C yang memerlukan waktu 1 jam 39 menit dan produk mencapai suhu dari 14,2 °C. Kemudian produk pertama dimasukkan kembali ke dalam unit *cold storage* bersama dengan produk kedua berupa air mineral sebanyak 350 ml ke dalam unit *cold storage* dengan suhu awal 7°C hingga mencapai 5°C selama 55 menit dan diperoleh suhu produk pertama mengalami peningkatan dari suhu sebelumnya yaitu 12,2 °C dan produk kedua mencapai suhu 18,6 °C.

Produk pertama dan kedua dimasukkan kembali bersama dengan produk ketiga berupa air mineral 350 ml ke dalam *cold storage* dengan suhu 7°C hingga turun menjadi 5°C selama 1 jam 38 menit dan diperoleh hasil bahwa suhu produk pertama dan kedua turun menjadi sekitar 9,6 °C dan 12,2 °C sedangkan produk 3 mencapai 14,6 °C. Percobaan ini menunjukkan bahwa kinerja mesin *cold storage* menunjukkan hasil yang memuaskan, dimana kondensor dapat mempertahankan dan meningkatkan suhu dengan baik.

Pada pengujian unit *cold storage* yang dilaksanakan pada hari Senin tanggal 20 Mei 2024 berdasarkan tabel diatas, pengujian dimulai pada pukul 19.00 WIB dengan suhu awal 31°C pada sensor 1 (ruangan) hingga mencapai set point suhu 5°C dengan durasi proses pendinginan 35 menit 30 detik dan untuk hidup kembali pada suhu 7°C, dengan selisih 2°C pada pukul 19.46 WIB sehingga dibutuhkan waktu 11 menit untuk kompresor hidup kembali. Untuk mencapai suhu 5°C lagi membutuhkan waktu 12 menit pada pukul 19.58 WIB. Berdasarkan tabel Blynk diatas terlihat bahwa pembacaan sensor Blynk dan sensor termostat Dixell tidak menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan. Teramati perbedaan suhu hanya 0,3°C - 1°C.

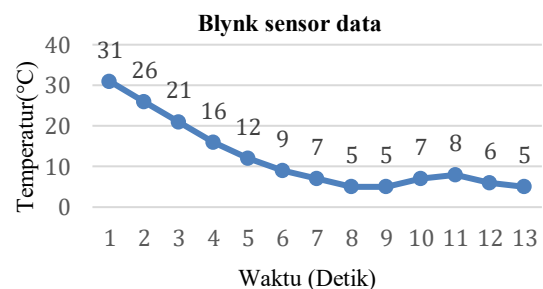
Pengujian unit *cold storage* yang dilaksanakan pada hari Sabtu tanggal 25 Mei 2024 berdasarkan tabel diatas, pengujian dimulai pada pukul 19.00 WIB dengan suhu awal 31,7°C pada sensor 1 (ruangan) hingga mencapai set point suhu 5°C dengan lama proses pendinginan selama 35 menit 46 detik dan hidup kembali pada suhu 7°C, dengan selisih 2°C pada pukul 19.48 WIB sehingga membutuhkan waktu 13 menit agar kompresor hidup kembali. Pencapaian suhu 5°C kembali membutuhkan waktu 11 menit pada pukul 19.59 WIB. Berdasarkan tabel Blynk diatas terlihat bahwa pembacaan sensor Blynk dan sensor termostat Dixell tidak menunjukkan perbedaan suhu yang signifikan. Teramati perbedaan suhu hanya 0,3°C - 1°C.

Grafik 8 pada gambar dibawah ini menunjukkan perbandingan percobaan yang dilakukan pada hari pertama dan hari terakhir pada tanggal 20 Mei 2024 – 26 Mei 2024.



Gambar 8. Perbandingan sensor suhu Dixell dan Blynk

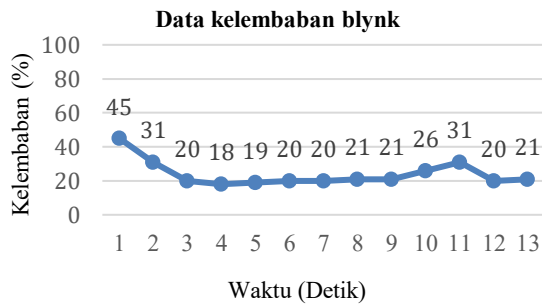
Pada gambar 8 diatas terlihat pembacaan suhu pada sensor 1 Dixell dan pembacaan suhu pada Blynk tidak mempunyai perbedaan suhu yang jauh, selisih pembacaan suhu sebesar 19.05 pada Sensor 1 Dixell terbaca 26°C dan suhu Blynk bacaannya 27,5°C ada selisih 1,5°C.



Gambar 9. Sensor suhu Blynk

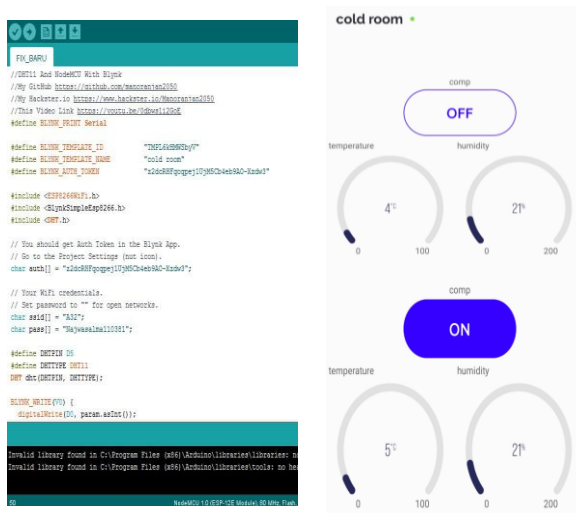
Pada gambar grafik 9 ditampilkan perbandingan grafik sensor suhu pada aplikasi blynk secara real time melalui monitoring ponsel. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang besar pada hari Senin pada awal percobaan pukul 19.05 terbaca 26°C dan pada hari Minggu saat percobaan terakhir dilakukan terbaca 28°C. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan suhu sebesar 2°C yang menunjukkan bahwa kenaikan suhu tidak signifikan.

Berdasarkan informasi dari gambar 10 diatas merupakan grafik perbandingan sensor kelembaban pada aplikasi blynk yang disajikan secara real time melalui monitoring ponsel. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa pada hari seni pertama percobaan terbaca 45% dan pada hari minggu terakhir percobaan dilakukan terbaca 98%, sehingga terdapat selisih kelembaban sebesar 53%. Perbedaannya sangat besar karena pada hari *pertama cold storage* tidak digunakan sama sekali. Perintah yang digunakan sebagai input pada aplikasi Arduino di komputer dan tombol-tombol yang dibutuhkan pada aplikasi Blynk IoT.



Gambar 10. Data monitoring kelembaban Blynk

Pada gambar 11 dapat ditunjukkan penggunaan coding dan tampilan aplikasi Blynk dengan pengaturan dan setting sesuai dengan percobaan yang dilakukan.



Gambar 11. Tampilan perintah IoT

Penyimpanan dingin memiliki keuntungan besar dalam hal stabilitas suhu. Hal ini disebabkan penggunaan teknologi termostat digital yang canggih. Termostat digital memungkinkan pengaturan suhu yang sangat tepat dan konsisten, sehingga fluktuasi suhu dapat diminimalkan. Dengan sistem kendali yang terintegrasi dan otomatis, cold storage dapat mempertahankan suhu yang ditentukan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini sangat penting terutama untuk penyimpanan produk yang sensitif terhadap perubahan suhu, seperti produk farmasi, daging, dan produk susu.

Kulkas dua pintu umumnya masih menggunakan termostat manual. Termostat manual berfungsi dengan cara yang lebih sederhana dan kurang tepat dibandingkan termostat digital. Pengguna harus mengatur suhu secara manual, dan perubahan suhu di dalam lemari es dapat lebih sering terjadi karena variasi frekuensi membuka dan menutup

pintu lemari es, serta beban penyimpanan yang berbeda. Akibatnya, suhu di dalam kulkas dua pintu cenderung lebih berfluktuasi dibandingkan *cold storage*. Fluktuasi suhu dapat berdampak negatif terhadap kualitas produk yang disimpan. Misalnya, perubahan suhu yang sering terjadi dapat menyebabkan makanan cepat rusak atau kehilangan nutrisi, sementara produk farmasi menjadi kurang efektif.

Penyimpanan pada pendinginan dengan kemampuannya mempertahankan suhu yang lebih stabil, dapat memberikan solusi yang lebih andal untuk penyimpanan jangka panjang dan kebutuhan khusus.

Secara keseluruhan, *cold storage* memiliki stabilitas suhu yang lebih baik dibandingkan kulkas dua pintu. Hal ini disebabkan oleh penggunaan termostat digital yang mampu mengatur suhu lebih akurat dan konsisten. Sedangkan kulkas dua pintu yang masih menggunakan termostat manual cenderung mengalami fluktuasi suhu lebih besar. Oleh karena itu, untuk kebutuhan penyimpanan yang membutuhkan suhu stabil dan presisi tinggi, cold storage menjadi pilihan yang lebih unggul.

4. Kesimpulan

Hasil percobaan yang dilakukan, kinerja mesin *cold storage* menunjukkan kemampuan yang memuaskan. Hasil data pengujian awal, mesin berhasil menurunkan suhu dari 7°C menjadi 5°C dalam waktu 1 jam 39 menit untuk satu produk air mineral berukuran 350 ml. Pada percobaan kedua, ketika produk satu dan dua disatukan kembali dengan produk dua, mesin mampu mengatur suhu dengan cepat dalam waktu 55 menit yang menunjukkan bahwa suhu produk satu mengalami peningkatan. Kemampuan mesin dalam menstabilkan suhu produk dua dan tiga terlihat dari suhu yang relatif tinggi dan stabil pada kisaran 9,6°C hingga 14,6°C. Hal ini menunjukkan kemampuan mesin dalam menangani beban tambahan dengan cukup baik. Mesin mampu mempertahankan suhu pada tingkat yang lebih rendah dari suhu awal, terlihat pada suhu produk ketiga yang mencapai 14,6°C setelah masa percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa mesin cold storage mempunyai kemampuan yang baik dalam mempertahankan suhu rendah secara konsisten, hal ini merupakan kualitas yang penting dalam menjaga kualitas produk yang disimpan. Dengan demikian kinerja mesin cold storage dari hasil percobaan ini menunjukkan kemampuan yang memuaskan dalam menjaga dan mengatur suhu produk dengan baik, serta menunjang fungsinya dalam menjaga kualitas produk yang disimpan.

Referensi

- [1]. M. M. Wihardja, B. Arifin, and M. F. Amir, "Menuju Sistem Agropangan Yang Lebih Berkelanjutan Di Indonesia," *Cent. Indones. Policy Stud.*, no. 17, 2023.
- [2]. Y. Evitha, "Tantangan Industri Cold Supply Chain Produk Makanan Beku," *J. Logistik Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 25–28, 2019, doi: 10.31334/jli.v2i2.295.

- [3]. R. C. K. Pangestu and A. A. K. Ayuningsasi, "Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, dan Transportasi terhadap Emisi Karbon di Indonesia," *Inisiat. J. Ekon. Akunt. dan Manaj.*, vol. 3, no. 4, pp. 297–311, 2024.
- [4]. D. S. Lambey, N. Amin, Y. S. Pirade, and R. Santoso, "Analisis Konsumsi Energi Listrik Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Kantor Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kabupaten Tojo Una-Una," *Foristek*, vol. 11, no. 2, pp. 108–114, 2021, doi: 10.54757/fs.v11i2.112.
- [5]. E. Y. Salawu *et al.*, "Impact of Maintenance on Machine Reliability: A Review," *E3S Web Conf.*, vol. 430, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202343001226.
- [6]. L. I. Sulaeman, M. R. Roestan, E. S. Nurrajiid, and I. Kustiyawan, "Implementasi Manajemen Risiko pada Cold Room Penyimpanan Bahan Baku Produk Biologi Farmasi Sebagai Langkah Penjaminan Kualitas," *Maj. Farmasetika*, vol. 9, no. 3, p. 264, 2024, doi: 10.24198/mfarmasetika.v9i3.53415.
- [7]. J. G. Lee, S. Lim, J. Kim, and E. J. Lee, "The mechanism of deterioration of the glucosinolate-myrosinase system in radish roots during cold storage after harvest," *Food Chem.*, vol. 233, pp. 60–68, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.104.
- [8]. A. Thoriq, L. Hasta Pratopo, R. Mulya Sampurno, and S. Hisyam Shafiyullah, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 10, no. 3, pp. 268–280, 2022, doi: 10.19028/jtep.010.3.268-280.
- [9]. Supiyanto, I. Qiram, and G. Rubiono, "Pengaruh Pelat Pengarah (Baffle) terhadap Distribusi Temperatur Cold Storage Skala Kecil," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 2, no. 1, pp. 9–12, 2017.
- [10]. F. F. Rahman, R. Susanto, and F. Suryani, "Implementasi Smart Energy Meter dan Controlling Alat Listrik Pada Rumah Pintar Berbasis IoT," *Jupiter (Jurnal Pendidik. Tek. Elektro)*, vol. 9, no. 2, p. 64, 2024, doi: 10.25273/jupiter.v9i2.20905.
- [11]. F. Zakharia, F. Adiputra, and P. Meko, "Peranan Metode Penyimpanan Bahan Makanan Dalam Meningkatkan Kualitas Makanan Di Hotel Bintang Labuhan Bajo Flores," *J. Ilm. Glob. Educ.*, vol. 4, no. 4, pp. 2153–2162, 2023, doi: 10.55681/jige.v4i4.1468.
- [12]. R. K. Kamila, L. Krisnawati, P. Devira, and A. Martini, "SISTEM PEMANTAUAN KONSUMSI LISTRIK RUMAH TANGGA DENGAN LOGIKA FUZZY BERBASIS INTERNET OF THINGS," no. 4, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.4.214-223.
- [13]. L. Pradigta, S. Raharja, Y. Chusna, and D. Kawulungan, "DESAIN MPPT-IC UNTUK CHARGING BATTERY SEBAGAI SUPPLY LAMPU RUMAH TINGGAL MENGGUNAKAN STATIC TRANSFER SWITCH," no. 4, pp. 199–206, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.4.199-206.
- [14]. S. Andalucia, "Operasi Dan Troubleshooting Gas Compressor Di Stasiun Kompresor Gas (Skg) Lembak Pt Pertamina Hulu Rokan Region 1 Zona 4," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 2, no. 5, pp. 2133–2152, 2023, doi: 10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i5.4727.
- [15]. M. A. Alamsha, A. Wisaksono, S. D. Ayuni, and D. H. R. Saputra, "Analisis Kebutuhan Daya Listrik Pada Gedung Fakultas Kedokteran Di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 2, pp. 86–94, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.2.86-94.
- [16]. A. Y. Rangan, Amelia Yusnita, and Muhammad Awaludin, "Sistem Monitoring berbasis Internet of things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ," *J. E-Komtek*, vol. 4, no. 2, pp. 168–183, 2020, doi: 10.37339/e-komtek.v4i2.404.