

Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Instalasi Daya dan Penerangan Untuk Rumah Tinggal Berbasis Programmable Logic Controller

M.Bintang faliq¹, Pratikto¹, Bowo Yuli Prasetyo¹

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : m.bintang.tptu421@polban.ac.id

E-mail : Pratikto@polban.ac.id

E-mail : bowo_yuli@polban.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu bukaan pintu terhadap konsumsi daya dan kinerja sistem pendingin pada kabin. Variasi waktu yang diuji adalah 5, 10, 15, dan 20 menit dengan sudut bukaan 90°, dikendalikan oleh motor servo. Parameter yang diamati meliputi temperatur kabin, waktu pencapaian suhu setelah pintu ditutup, tekanan suction dan discharge, arus kompresor, COP, efisiensi, serta konsumsi energi listrik. Hasil menunjukkan bahwa semakin lama durasi bukaan pintu, semakin besar beban infiltrasi yang masuk ke kabin, menyebabkan peningkatan temperatur, tekanan, dan konsumsi energi listrik. COP dan kapasitas pendinginan juga mengalami peningkatan, menunjukkan sistem beradaptasi terhadap beban tambahan. Efisiensi tertinggi tercapai pada bukaan 10 menit sebesar 56,17%, sementara konsumsi energi tertinggi terjadi pada bukaan 20 menit sebesar 0,611 kWh. Penelitian ini menyimpulkan bahwa durasi bukaan pintu sangat memengaruhi performa termal dan konsumsi daya sistem pendingin, sehingga pengendalian durasi buka tutup pintu sangat penting untuk menjaga efisiensi energi pada kabin.

Kata Kunci

durasi bukaan pintu, sistem pendingin, konsumsi daya, efisiensi, COP

This study aims to analyze the effect of door opening duration variations on power consumption and the performance of the cooling system in a cabin. The tested durations were 5, 10, 15, and 20 minutes with a 90° door opening angle, controlled by a servo motor. The observed parameters included cabin temperature, time to reach the set temperature after the door was closed, suction and discharge pressure, compressor current, COP, efficiency, and electrical energy consumption. The results show that the longer the door remains open, the greater the infiltration load entering the cabin, leading to increased temperature, pressure, and power consumption. COP and cooling capacity also increased, indicating the system's ability to adapt to the additional load. The highest efficiency was achieved at a 10-minute door opening duration, reaching 56.17%, while the highest energy consumption was recorded at 20 minutes with 0.611 kWh. This study concludes that door opening duration significantly affects the thermal performance and power consumption of the cooling system; therefore, controlling the door opening time is crucial to maintaining energy efficiency in the cabin.

Keywords

door opening duration, cooling system, power consumption, efficiency, COP.

1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin merupakan teknologi yang dirancang untuk menjaga suhu ruang penyimpanan tetap rendah guna mempertahankan mutu, kesegaran, dan daya simpan suatu produk. Kelembaban udara berperan penting dalam lemari es rumah tangga karena memengaruhi kehilangan air pada produk segar. Penelitian menunjukkan bahwa penyimpanan jamur dan selada pada kelembaban relatif tinggi di ruang crisper mampu mengurangi kehilangan massa dan menjaga kualitas selama 14 hari. Hasil ini mendukung pengembangan sistem pendingin rumah tangga dengan kontrol kelembaban untuk memperpanjang kesegaran makanan.(1)

Namun, salah satu permasalahan utama dalam penggunaan lemari es adalah frekuensi dan durasi bukaan pintu. Setiap kali pintu dibuka, udara hangat dari lingkungan luar masuk ke dalam ruang pendingin, yang menyebabkan kenaikan

temperatur kabin secara langsung. Kondisi ini menambah beban kerja sistem karena unit pendingin harus bekerja lebih keras untuk menurunkan suhu kembali ke titik yang diinginkan, hal ini tidak hanya berdampak pada fluktuasi suhu, tetapi juga mengurangi efisiensi kerja sistem dan meningkatkan konsumsi daya Listrik (2).

Studi ini juga menyoroti bahwa variabilitas suhu tersebut dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme dan memperpendek umur simpan makanan dingin. Oleh karena itu, perbaikan dalam desain kulkas, distribusi suhu internal yang merata, serta edukasi pengguna sangat penting untuk meningkatkan keamanan pangan di tingkat rumah tangga. (3).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu bukaan pintu terhadap konsumsi energi dan kinerja sistem pendingin. Durasi bukaan pintu yang diuji meliputi 5, 10, 15, dan 20 menit dengan sudut bukaan tetap 90°, yang dikendalikan

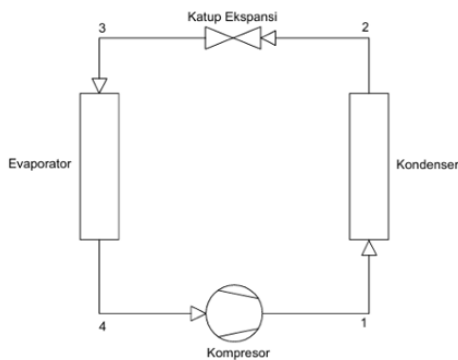
secara otomatis menggunakan motor servo. Melalui pendekatan eksperimental, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai dampak durasi bukaan pintu terhadap kestabilan suhu dan efisiensi sistem pendingin, sebagai dasar untuk upaya penghematan energi dan optimalisasi sistem pendingin.

Mengingat waktu penyimpanan makanan dingin yang disarankan dalam kondisi pemadaman listrik berkisar antara dua hingga enam jam, maka penting untuk mengetahui suhu internal makanan setelah pemadaman listrik di berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini mengukur suhu internal beberapa bahan makanan dalam kulkas rumah tangga saat terjadi pemadaman listrik, dengan mempertimbangkan berbagai kondisi suhu lingkungan luar dan tingkat pengisian kulkas.(4)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem pendingin

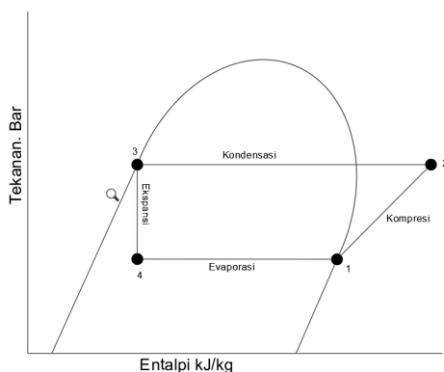
Sistem pendingin adalah rangkaian siklus refrigerasi (termasuk unit kompresi uap dan unit sub cooling) yang memanfaatkan sirkulasi alami refrigeran untuk memberikan kapasitas pendinginan sambil mengurangi konsumsi energi.referensi(5).



Gambar 1 Skematik Siklus Refrigerasi

Gambar 1 menunjukkan 4 proses yang terjadi pada sistem diantaranya:

1. Proses kompresi
2. Proses kondensasi
3. Proses ekspansi
4. Proses evaporasi



Gambar 2 Diagram P-h

Berdasarkan Gambar 2 pada diagram P-h, setiap tahapan proses dapat diketahui dengan jelas, antara lain:

1. Proses kompresi (1-2)
2. Proses kondensasi (2-3)
3. Proses ekspansi (3-4)
4. Proses evaporasi (4-1)

Adapun parameter yang diukur untuk menentukan kinerja sistem pendingin diantaranya yaitu COPaktual, efisiensi sistem, Kapasitas Pendinginan, laju aliran masa, kapasitas pendingin evaporator, konsumsi daya, Yang diterima oleh sistem. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$q_w = h_2 - h_1$$

$$q_e = h_1 - h_4$$

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{q_w}$$

$$COP_{carnot} = \frac{q_e}{(T_k - T_e)}$$

$$efisiensi \eta = \frac{COP_a}{COP_c} \times 100\%$$

$$\dot{m}_{refrigeran} = \frac{Q_w}{h_2 - h_1}$$

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

$$P = I \times V \times \cos \varphi$$

Keterangan:

q_w : Besar Kerja Kompresi (kJ/kg)

q_e : Efek Refrigerasi (kJ/kg)

h : Nilai Entalpi refrigeran (kJ/kg)

COP_{aktual} : COP sebenarnya

COP_{carnot} : COP ideal

T_e : Temperatur Evaporasi (°C)

T_k : Temperatur Kondensasi (°C)

η : efisiensi Sistem (%)

\dot{m} : Laju Aliran Massa Refrigeran (kg/s)

Q_w : kinerja kompresor (kW)

P : Daya Listrik (watt)

I : Arus Listrik (amper)

V : Tegangan Listrik (Volt)

$\cos \varphi$: power factor

3. METODOLOGI

3.1 Objek yang Diuji

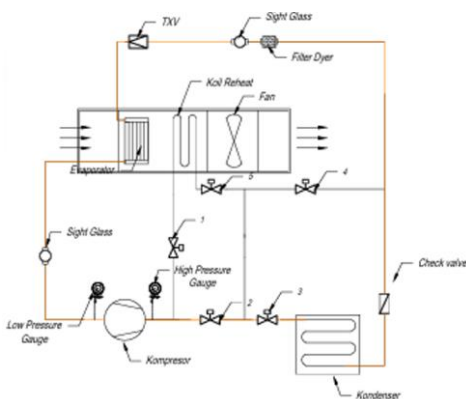
Objek yang diuji dalam penelitian ini adalah sebuah sistem pendingin kabin yang telah dimodifikasi dari unit AC Split standar. Sistem ini menggunakan kompresor berkapasitas 1 PK dengan kapasitas pendinginan sebesar 9000 BTU/h dan menggunakan refrigeran R-22 sebagai media kerja. Kabin uji dibuat dengan ukuran 1 x 1 x 1,5 meter dan dilengkapi dengan pintu yang dapat terbuka otomatis pada sudut 90°, dikendalikan oleh motor servo. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh variasi durasi bukaan pintu terhadap performa sistem pendingin, dengan durasi pengujian kompresor, COP, efisiensi sistem, dan konsumsi

energi listrik. Seluruh data diperoleh melalui pengukuran menggunakan alat bantu seperti termometer digital, tang amper, pressure gauge, dan kWh meter.



Gambar 3 Sistem Pendingin

Proses dimulai saat refrigeran berbentuk uap di evaporator, refrigeran dihisap oleh kompresor melalui saluran hisap, lalu refrigeran dikompresi hingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Refrigeran bertekanan tinggi tersebut kemudian mengalir SV 2 dan SV 3 dan menuju kondensor. Di dalam koil kondensor, refrigeran melepaskan panas ke lingkungan dan merubah fasa dari uap menjadi cair jenuh. Setelah itu, refrigeran cair masuk ke *filter drier* yang berfungsi untuk menyaring partikel kotoran agar tidak mengganggu kinerja sistem. Kemudian, aliran refrigeran dilanjutkan ke *sight glass* untuk memastikan refrigeran mengalir dengan lancar dan sesuai volume. Selanjutnya, refrigeran cair menuju katup ekspansi TXV (*Thermostatic Expansion Valve*), di mana terjadi penurunan tekanan dan suhu. Refrigeran dingin yang keluar dari TXV mengalir ke evaporator, di mana panas dari udara diserap sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap jenuh. Akhirnya, refrigeran kembali menuju kompresor dan memulai kembali siklus ini secara berulang dan berkesinambungan.



Gambar 4 Skematik pemipaan sistem pendingin

3.2 Variasi Pengujian

Berikut variasi pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menganalisis pengaruh durasi bukaan pintu

terhadap kinerja sistem pada masing-masing variasi yaitu bukaan 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit.

Tabel 1 Variasi Pengujian Penelitian

Variasi	Keterangan
Variasi 1	Durasi Bukaan pintu 5 menit
Variasi 2	Durasi Bukaan pintu 10 menit
Variasi 3	Durasi Bukaan pintu 15 menit
Variasi 4	Durasi Bukaan pintu 20 menit

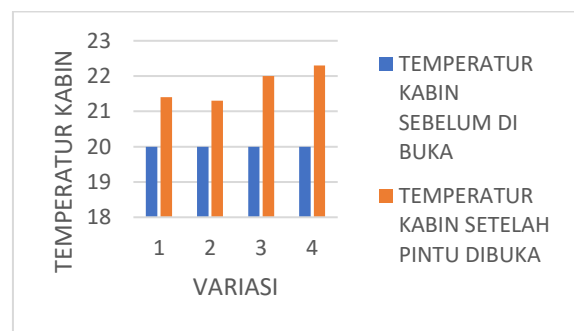
Parameter yang diukur pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Tekanan Discharge (Bar)
2. Tekanan Suction (Bar)
3. Temperatur Discharge (°C)
4. Temperatur Suction (°C)
5. Temperatur Keluar Evaporator (°C)
8. Temperatur Masuk Evaporator (°C)
7. Temperatur Keluar Kondenser (°C)
8. Temperatur Masuk Kondenser (°C)
9. Tdb dan Twb Kabin (°C)
10. Tdb dan Twb Lingkungan (°C)

4. DATA HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menyajikan analisis berdasarkan hasil observasi dan pengumpulan data untuk masing-masing variasi durasi bukaan pintu. Variasi waktu yang digunakan adalah 5, 10, 15, dan 20 menit dengan sudut bukaan pintu sebesar 90°. Setiap parameter yang diperoleh dari masing-masing variasi dianalisis untuk melihat pengaruhnya terhadap kondisi termal dalam kabin, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kembali *temperatur dry bulb* (TDB) setelah pintu dibuka, serta performa sistem pendingin. Rincian data hasil pengambilan pada setiap variasi waktu bukaan pintu disajikan pada bagian Lampiran.

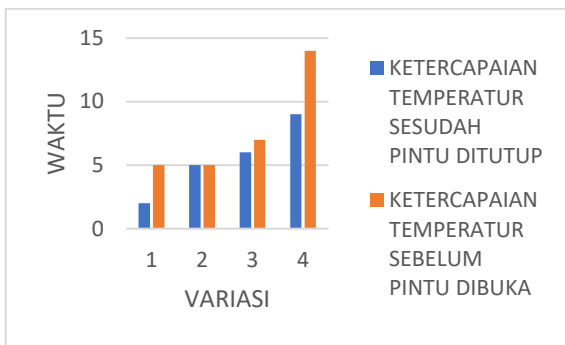
4.1 Perbandingan Waktu Pencapaian Temperatur Kabin



Gambar 5 Grafik Perbandingan antara Temperatur Kabin Sebelum Dibuka terhadap Temperatur Setelah Dibuka

Pada Gambar 5. Dapat dilihat Grafik Perbandingan antara Temperatur Kabin Sebelum Dibuka terhadap Temperatur Setelah Dibuka perbandingan temperatur kabin sebelum dan setelah pintu dibuka pada empat variasi durasi bukaan pintu. Pada temperatur kabin sebelum pintu dibuka berada pada kisaran yang sama untuk seluruh variasi, yaitu sekitar 20°C, menunjukkan bahwa sistem pendingin mampu menjaga kestabilan suhu awal kabin secara konsisten. Namun, setelah

pintu dibuka, terjadi peningkatan temperatur kabin pada semua variasi, dengan kenaikan yang semakin besar seiring bertambahnya durasi bukaan pintu. Pada variasi 1 dan 2 (durasi 5 dan 10 menit), temperatur kabin naik menjadi sekitar 21,2–21,3°C, sedangkan pada variasi 3 dan 4 (15 dan 20 menit), temperatur meningkat lebih tinggi hingga mencapai 21,9°C dan 22,3°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama pintu dibiarkan terbuka, semakin banyak udara luar yang masuk, menyebabkan kenaikan suhu di dalam kabin. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa durasi bukaan pintu berpengaruh langsung terhadap peningkatan temperatur kabin, dan semakin lama durasi tersebut, semakin besar gangguan terhadap kestabilan suhu ruang.



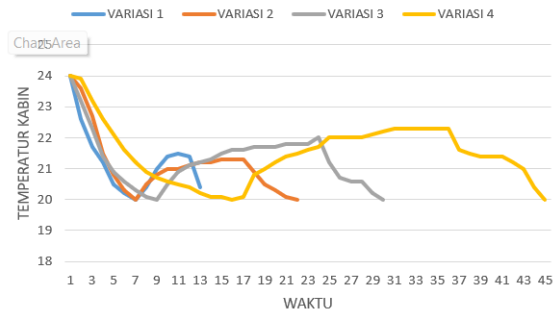
Gambar 6 Grafik Perbandingan Waktu Ketercapaian Temperatur Sesudah Pintu Ditutup terhadap Sebelum Pintu Dibuka

Pada Gambar 6. menunjukkan grafik perbandingan waktu ketercapaian temperatur sesudah pintu ditutup terhadap sebelum pintu dibuka memperlihatkan waktu yang dibutuhkan sistem pendingin untuk mencapai temperatur kabin yang diinginkan, baik sebelum pintu dibuka maupun setelah pintu ditutup, pada empat variasi durasi bukaan pintu. Pada variasi 1 (5 menit), waktu ketercapaian suhu setelah pintu ditutup hanya sekitar 2 menit, jauh lebih cepat dibanding waktu ketercapaian suhu sebelum pintu dibuka yang memakan waktu 5 menit. Hal ini menunjukkan sistem mampu pulih dengan cepat setelah gangguan singkat.

Namun, seiring bertambahnya durasi bukaan pintu, waktu yang dibutuhkan untuk kembali mencapai suhu target pun semakin lama. Pada variasi 2 dan 3 (10 dan 15 menit), waktu pemulihan suhu naik menjadi sekitar 6 dan 7 menit, sedangkan pada variasi 4 (20 menit), waktu ketercapaian suhu setelah pintu ditutup meningkat signifikan hingga 9 menit, dan bahkan 14 menit untuk mencapai suhu awal sebelum pintu dibuka.

Pola ini mengindikasikan bahwa semakin lama durasi pintu dibiarkan terbuka, maka semakin besar beban panas yang masuk dan semakin lama pula sistem membutuhkan waktu untuk menurunkan kembali temperatur kabin ke kondisi ideal. Dengan demikian, efisiensi operasional sistem pendingin sangat dipengaruhi oleh durasi bukaan pintu, dan durasi yang lebih singkat memberikan pemulihan suhu yang lebih cepat serta kinerja sistem yang lebih efisien.

4.2 Grafik Temperatur Kabin



Gambar 7 Grafik Temperatur Kabin

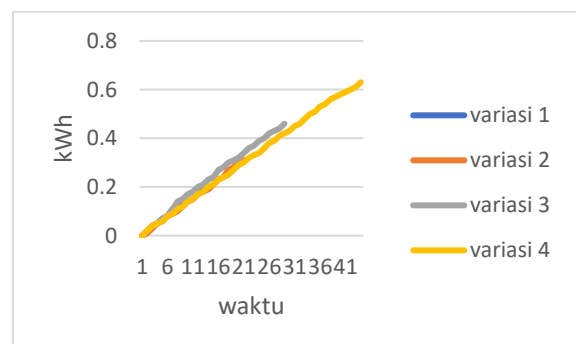
Pada Gambar 7. menunjukkan grafik perubahan temperatur kabin terhadap waktu pada empat variasi durasi bukaan pintu: variasi 1 (5 menit), variasi 2 (10 menit), variasi 3 (15 menit), dan variasi 4 (20 menit). Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa pembukaan pintu menyebabkan peningkatan temperatur kabin, yang kemudian secara bertahap menurun seiring waktu setelah pintu ditutup dan sistem pendingin kembali bekerja untuk menstabilkan suhu.

Pada variasi 1 dan 2, temperatur kabin meningkat tajam saat pintu dibuka namun kembali stabil lebih cepat dan mencapai temperatur mendekati 20°C dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini menunjukkan bahwa gangguan dari luar ruangan dapat diatasi lebih cepat karena waktu bukaan yang lebih singkat.

Sebaliknya, variasi 3 dan 4 menunjukkan peningkatan suhu yang lebih tinggi dan waktu pemulihan yang lebih lama. Khususnya pada variasi 4, temperatur kabin cenderung tetap tinggi hingga menit ke-30 dan mulai menurun secara perlahan setelahnya. Ini menandakan bahwa semakin lama pintu dibiarkan terbuka, semakin besar pengaruhnya terhadap kestabilan suhu ruang kabin, akibat peningkatan jumlah udara luar yang masuk dan beban pendinginan yang meningkat.

Dengan demikian, grafik ini mengilustrasikan bahwa durasi bukaan pintu berbanding lurus dengan gangguan temperatur kabin, yang berdampak pada efisiensi dan performa sistem pendingin secara keseluruhan.

4.3 Grafik Kwh Terhadap Waktu



Gambar 8 Grafik perbandingan antara kWh Terhadap Waktu

Pada empat variasi durasi bukaan pintu, yaitu 5, 10, 15, dan 20 menit. Berdasarkan grafik, seluruh variasi mengalami peningkatan konsumsi energi secara bertahap seiring bertambahnya waktu. Variasi 1 dan 2, yang

merepresentasikan durasi bukaan pintu yang lebih singkat, menunjukkan laju pertambahan energi yang lebih landai, mengindikasikan konsumsi daya yang lebih rendah dan stabil. Pada variasi 3, konsumsi energi meningkat lebih cepat hingga sekitar menit ke-25, kemudian mulai melandai. Sementara itu, variasi 4 menunjukkan kurva paling curam, khususnya setelah menit ke-30, dan berakhir dengan nilai konsumsi energi tertinggi, mendekati 0,7 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama pintu dibiarkan terbuka, maka semakin besar beban infiltrasi udara panas yang masuk ke dalam kabin, sehingga sistem pendingin harus bekerja lebih keras untuk menjaga kestabilan suhu, yang pada akhirnya meningkatkan konsumsi energi listrik secara signifikan. Oleh karena itu, durasi bukaan pintu menjadi faktor krusial dalam efisiensi energi sistem pendingin.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Kenaikan temperatur kabin tertinggi terjadi pada variasi waktu bukaan pintu selama 20 menit dengan kenaikan sebesar 22,3°C. Sementara, kenaikan temperatur kabin terendah terjadi pada variasi waktu bukaan pintu selama 10 menit dengan kenaikan sebesar 21,3°C.
2. Lama waktu pencapaian temperatur kabin terpanjang terjadi pada variasi waktu bukaan pintu 20 menit dengan lama waktu pencapaian temperatur kabin setelah pintu dibuka selama 9 menit. Sementara itu, waktu pencapaian temperatur kabin tersingkat terjadi pada variasi waktu bukaan pintu selama 5 menit dengan lama waktu pencapaian temperatur kabin setelah pintu dibuka selama 2 menit.
3. Nilai *Coefficient of Performance* (COP) tertinggi diperoleh saat pintu dibuka selama 10 menit, yaitu sebesar 6,23. Sebaliknya, COP terendah tercatat pada variasi bukaan pintu selama 15 menit, dengan nilai sebesar 6,04.
4. Berdasarkan hasil penelitian yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara durasi bukaan pintu dengan peningkatan temperatur kabin dan konsumsi energi sistem pendingin, maka hasil ini berpotensi untuk diterapkan dalam pengembangan sistem kontrol otomatis seperti alarm peringatan atau sistem buka-tutup pintu otomatis berbasis mikrokontroler (misalnya Arduino atau ESP32). Penerapan praktis yang dimungkinkan antara lain:
 - Sistem Peringatan Otomatis (Alarm): Dapat dikembangkan alarm akustik atau visual (lampu LED) yang aktif ketika pintu dibiarkan terbuka melebihi durasi kritis tertentu (misalnya lebih dari 10 menit), untuk memperingatkan pengguna akan

potensi pemborosan energi dan gangguan performa pendinginan.

- Otomasi Buka-Tutup Pintu: Dengan memanfaatkan aktuator seperti motor servo yang telah digunakan dalam penelitian ini, sistem dapat dirancang agar pintu tertutup otomatis setelah waktu tertentu atau ketika tidak terdeteksi aktivitas di sekitar kabin (menggunakan sensor gerak atau sensor beban).
- Integrasi IoT (Internet of Things): Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan sensor temperatur, sensor pintu (reed switch), serta mikrokontroler yang terhubung ke jaringan untuk memantau durasi bukaan pintu secara real time melalui aplikasi ponsel. Data historis dapat disimpan untuk evaluasi penggunaan energi.
- Optimalisasi Manajemen Energi: Dengan data hubungan antara waktu bukaan pintu dan konsumsi energi, sistem pendingin komersial seperti lemari es di minimarket atau display cooler di supermarket dapat diprogram untuk mengatur ulang siklus kerja kompresor jika mendeteksi pola buka-tutup pintu yang tidak efisien

5.2 Saran

1. Pengambilan data saat pengujian sebaiknya dilakukan menggunakan sistem akuisisi data sehingga dapat diketahui fluktuatif dari data yang diukur.
2. Pengambilan data sebaiknya dilakukan pada waktu dan kondisi lingkungan yang sama sehingga dapat diketahui perbandingan pada setiap variasi dengan kondisi yang sama

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung karena telah difasilitasinya segala kebutuhan yang menunjang proses pembelajaran dan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hoffmann TG, et al. Fresh food shelf-life improvement by humidity regulation in domestic refrigeration. *Procedia Comput Sci.* 2023;217:826–834.
2. Mitrakusuma WH, Dermawan R. Pengaruh frekuensi buka tutup pintu terhadap kinerja kulkas. 2019.
3. James SJ, Evans J, James C. A review of the performance of domestic refrigeration. *vol3-no-1-Temperature-and-time.*
4. Okazaki S. Cooling System Using Natural Circulation for Air Conditioning. 2008.