

Analisis Penurunan Performa Pendinginan *Freezerbox* Type MD 20 W Berbasis Pengukuran Tekanan *Discharge* Kompresor

Roy Reyfaldy Samuel^{1*}, Artian Sirun², Niko Pinangkaan³

^{1*,2,3}Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado

*Email: Roy.reyfaldy.03@gmail.com

Abstract

This study analyzes the cooling performance degradation of a Modena MD 20W freezer box utilizing R134a refrigerant. The primary issues identified include continuous compressor operation, failure to achieve the target temperature of -18°C , and low discharge pressure. This research aims to analyze discharge pressure as a primary diagnostic indicator and investigate its relationship with the freezer compartment temperature. A descriptive-analytical case study method was employed, with data recorded at 25-minute intervals over a 200-minute period. Measurements were conducted using a manifold gauge, digital thermometer, and clamp meter across three distinct conditions: utilizing a QD52H compressor, a Highly C-BF053L4A compressor under no-load conditions, and under a 15 kg beef load condition. The results indicated that the QD52H compressor only generated a discharge pressure of 86–110 psig (well below the normal range of 145–185 psig), yielding a freezer temperature of 12.0°C and a cooling rate of $0.084^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Following replacement with the Highly compressor, the discharge pressure increased to 128–145 psig, the temperature reached -20.7°C , and the cooling rate improved by 192.86% to $0.246^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Under the 7-hour beef load test, the freezer wall temperature reached -20.0°C with a core beef temperature of -2.0°C . This study indicates that discharge pressure analysis has potential as a non-destructive diagnostic method, although its general reliability and effectiveness require further validation through repeated testing on multiple units.

Keywords: *Freezerbox, performance degradation, refrigeration system diagnostics, cooling rate, R134a refrigerant, discharge pressure*

Abstrak

Penelitian ini menganalisis penurunan performa pendinginan freezerbox Modena MD 20W dengan refrigeran R134a. Masalah utama meliputi kompresor yang berjalan terus-menerus, kegagalan mencapai suhu target -18°C , dan tekanan *discharge* yang rendah. Tujuan penelitian adalah menganalisis tekanan *discharge* sebagai indikator diagnosis utama serta hubungannya dengan suhu ruang freezer. Metode deskriptif-analitis studi kasus dilakukan dengan pengambilan data setiap 25 menit selama 200 menit menggunakan manifold gauge, termometer digital, dan tang ampere pada tiga kondisi: kompresor QD52H, Highly C-BF053L4A tanpa beban, serta dengan beban 15 kg daging sapi. Hasil menunjukkan kompresor QD52H hanya menghasilkan 86–110 psig (di bawah normal 145–185 psig), suhu freezer $12,0^{\circ}\text{C}$, dan laju pendinginan $0,084^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Setelah penggantian kompresor *Highly*, tekanan naik menjadi 128–145 psig, suhu mencapai $-20,7^{\circ}\text{C}$, dan laju pendinginan meningkat 192,86% menjadi $0,246^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Dengan beban daging selama 7 jam, suhu dinding freezer $-20,0^{\circ}\text{C}$ dan suhu daging $-2,0^{\circ}\text{C}$. Penelitian ini mengindikasikan bahwa analisis tekanan *discharge* berpotensi sebagai metode diagnostik non-destruktif, meskipun keandalan dan efektivitasnya secara umum masih memerlukan validasi lebih lanjut melalui pengujian berulang pada beberapa unit.

Kata kunci: *Freezerbox, degradasi performa, diagnostik sistem refrigerasi, laju pendinginan, refrigeran R134a, tekanan discharge*

1. Pendahuluan

Freezerbox merupakan alat pendingin rumah tangga yang dirancang untuk menjaga produk pangan tetap pada suhu beku sehingga proses pembusukan dapat dihambat secara efektif. Performa *freezerbox* dapat mengalami penurunan akibat degradasi komponen, terutama kompresor, yang ditandai dengan kegagalan mencapai suhu target (-18°C hingga -25°C), operasi kompresor secara kontinu, dan peningkatan konsumsi energi. Tekanan *discharge* merupakan parameter operasional penting pada sistem refrigerasi kompresi uap karena mencerminkan kemampuan kompresor dalam menghasilkan diferensial tekanan yang diperlukan untuk proses kondensasi dan evaporasi [1]. Ketika tekanan *discharge* menurun, pelepasan kalor di kondensor tidak berlangsung secara maksimal sehingga efektivitas pendinginan di *evaporator* ikut menurun [2]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis tekanan *discharge* sebagai indikator diagnostik kuantitatif untuk mengevaluasi penurunan performa pendinginan pada *freezerbox* Modena MD 20W berdasarkan data pengukuran lapangan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode deskriptif-analitis menggunakan pendekatan studi kasus pada satu unit *freezerbox* Modena MD 20W berkapasitas 205 liter dengan refrigeran R134a. Pengukuran dilakukan menggunakan manifold gauge, termometer digital, dan tang ampere pada tiga kondisi pengujian: (1) kompresor QD52H sebelum perbaikan, (2) kompresor Highly C-BF053L4A setelah perbaikan tanpa beban, dan (3) kompresor Highly C-BF053L4A dengan beban 15 kg daging sapi. Pengambilan data dilakukan setiap 20 menit selama 200 menit pada kondisi sebelum perbaikan menggunakan kompresor QD52H, setiap 25 menit selama 200 menit pada kondisi setelah perbaikan tanpa beban, serta setiap 60 menit selama 420 menit (7 jam) pada kondisi dengan beban daging sapi.

Ketidakpastian pengukuran mengacu pada spesifikasi instrumen, yaitu manifold gauge $\pm 2\%$ skala penuh, termometer digital dengan resolusi $0,1^{\circ}\text{C}$ dan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, serta tang ampere $\pm 1,5\%$ dari pembacaan. Sensor tekanan dipasang pada saluran *discharge* setelah katup service, sensor suhu dinding pada bagian tengah dinding *freezer*, dan sensor suhu produk pada bagian pusat (*core*) daging sapi. Pengisian R134a dilakukan bertahap hingga tekanan 145–185 psig pada suhu ambien $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$, dengan massa refrigeran 90–120 gram. Kondisi awal pengujian menggunakan ruang *freezer* kosong dan pintu tertutup pada suhu ambien $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$ untuk kondisi pertama dan kedua, sedangkan kondisi ketiga menggunakan daging sapi segar dengan suhu awal $34,0^{\circ}\text{C}$ pada suhu ambien yang sama.

Tabel 1. Instrumen pengukuran, lokasi, dan ketidakpastian

Instrumen	Lokasi Pengukuran	Resolusi	Ketidakpastian
Manifold gauge	Tekanan <i>discharge</i> pada saluran keluar kompresor, setelah katup service <i>discharge</i>	0–500 psig; resolusi 5 psi	$\pm 2\%$ skala penuh*
Termometer digital (dinding)	Suhu dinding dalam ruang <i>freezer</i> , titik tengah dinding	$-50\text{--}100^{\circ}\text{C}$; resolusi $0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}^*$
Termometer digital	Suhu inti (<i>core</i>) sampel daging sapi	$-50\text{--}100^{\circ}\text{C}$; resolusi $0,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}^*$
Tang ampere	Arus operasi kompresor pada kabel fasa suplai	0–100 A; resolusi 0,01 A	$\pm 1,5\%$ dari pembacaan

Nilai ketidakpastian ditentukan berdasarkan spesifikasi instrumen ukur standar, yaitu manifold gauge, termometer digital, dan tang

ampere, yang umum digunakan dalam pengukuran sistem refrigerasi domestik. Nilai tersebut telah dikonfirmasi berdasarkan sertifikat kalibrasi instrumen yang digunakan dalam penelitian.

3. Hasil Penelitian

3.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Objek yang diteliti adalah satu unit *freezerbox* Modena tipe MD 20W dengan refrigeran R134a yang telah beroperasi dalam periode relatif panjang. Berdasarkan observasi pendahuluan di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado, unit tersebut menunjukkan degradasi performa pendinginan yang ditandai dengan operasi kompresor secara kontinu, kegagalan mencapai kondisi pembekuan, temperatur pipa *discharge* yang tidak meningkat secara nyata, serta pembentukan frost pada evaporator yang sangat terbatas [1].

Tabel 2. Spesifikasi Teknis *Freezerbox* Modena MD 20W

Parameter	Spesifikasi
Merek / Tipe	Modena MD 20W
Kapasitas <i>Freezer</i>	205 Liter
Jenis Refrigeran	R134a
Daya Listrik	160 Watt
Tegangan Operasi	220 V / 50 Hz
Tipe Kompresor Awal	Hermetic Reciprocating QD52H
Kompresor Pengganti	Highly C-BF053L4A
Suhu Target Operasi	-18°C s/d -25°C

Freezerbox Modena MD 20W merupakan tipe chest *freezer* rumah tangga dengan kapasitas neto 205 liter. Unit ini menggunakan refrigeran R134a yang secara normal beroperasi pada tekanan discharge 145–185 psig pada suhu ambien 30–35°C [2].

3.2 Hasil Pengujian Sebelum Perbaikan

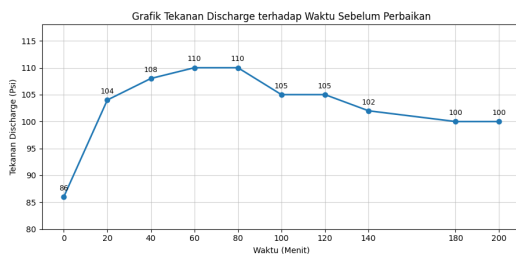
Pengukuran sebelum perbaikan dilakukan pada ruang *freezer* kosong dengan pintu tertutup dan suhu ambient 25–30°C, interval

pengukuran 20 menit selama 200 menit, dengan satu jeda 40 menit pada rentang menit ke-140 hingga ke-180.

Tabel 3. Data Pengukuran Sebelum Perbaikan

Waktu (Menit)	Tekanan Discharge (Psi)	Suhu Dinding (°C)	Arus (A)	Catatan Kondisi Fisik
0	86	28,8	0,90	Pengukuran awal saat startup
20	104	25,8	0,85	Tekanan discharge tertahan, sulit meningkat
40	108	23,5	0,82	Kondensor hangat di bawah normal,
60	110	19,7	0,80	Pipa <i>discharge</i> dekat kompresor panas
80	110	18,4	0,78	Arus menurun, kompresor tidak beroperasi pada beban penuh
100	105	14,5	0,76	Tekanan <i>discharge</i> stagnan, tren menurun
120	105	13,6	0,75	Suhu evaporator menurun namun tanpa pembentukan frost merata
140	102	12,5	0,75	Suhu dinding stagnan, gagal mencapai suhu negatif
180	100	12,0	0,73	Laju penurunan suhu mendekati nol
200	100	12,0	0,73	Indikasi penurunan

Waktu (Menit)	Tekanan Discharge (Psi)	Suhu Dinding (°C)	Arus (A)	Catatan Kondisi Fisik
				efisiensi kompresi; temperatur bodi tinggi namun tekanan discharge di bawah batas normal



Gambar 1. Grafik Tekanan Discharge terhadap Waktu Sebelum Perbaikan

Tekanan *discharge* rata-rata 103,0 psi berada jauh di bawah standar 145–185 psig. Tekanan puncak hanya 110 psig dan tidak pernah mencapai batas bawah normal, mengonfirmasi penurunan kapasitas kompresi mekanis [3].

3.3 Analisis Penyebab Penurunan Performa Pendinginan

Tekanan *discharge* rata-rata 103,0 psi, lebih rendah dari standar 145–185 psi, menunjukkan proses kondensasi dan aliran refrigeran menuju pipa kapiler tidak optimal [6]. Suhu yang berhenti pada 12,0°C menunjukkan sistem tidak mampu mencapai suhu target tanpa penggantian kompresor [7]. Arus 0,73 A yang berada di bawah nominal 0,90–1,20 A dapat mengindikasikan *internal leakage* pada katup kompresor [8]. Berdasarkan ketiga parameter tersebut, kompresor QD52H diduga mengalami penurunan kemampuan kompresi akibat degradasi mekanis [8]. Tekanan *discharge* yang rendah menyebabkan kapasitas pendinginan menurun sehingga *freezer* tidak mencapai suhu –18°C [6]. Kombinasi tekanan *discharge* dan arus operasi yang rendah juga mengarah pada kemungkinan *internal leakage* pada kompresor [8]. Tekanan *discharge* rendah tidak selalu

menunjukkan *internal leakage*, karena dapat disebabkan oleh *undercharge*, hambatan pipa kapiler, kebocoran sistem, beban termal rendah, atau kesalahan pengisian refrigeran [6]. Dugaan *internal leakage* dalam penelitian ini didasarkan pada tekanan *discharge* dan arus operasi yang rendah [8]. Namun, kepastian diagnosis memerlukan pengujian tambahan, seperti uji rasio kompresi atau analisis oli pelumas, yang tidak dilakukan karena kompresor lama telah dilepas.

3.4 Proses Perbaikan Sistem Refrigerasi

Perbaikan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pelepasan kompresor QD52H dengan teknik *brazing* setelah refrigeran di-*recovery* [6]; *flushing* menggunakan nitrogen kering bertekanan rendah untuk membersihkan kontaminan dan residu oli terdegradasi [8]; penggantian *filter drier* untuk mencegah kontaminan lama masuk kembali ke sistem [7]; pemasangan kompresor Highly C-BF053L4A dengan teknik *silver brazing*; proses vakum hingga tekanan di bawah 500 mikron Hg selama minimal 30 menit untuk memastikan tidak terjadi kebocoran [4]; serta pengisian refrigeran R134a secara bertahap hingga tekanan 145–185 psig pada suhu ambien 30–35°C [2]. Untuk memastikan peningkatan performa pendinginan berasal dari pemulihan kemampuan kompresi dan bukan hanya perbedaan kapasitas kompresor, spesifikasi teknis kompresor QD52H sebagai unit lama dan Highly C-BF053L4A sebagai unit pengganti dibandingkan pada Tabel 4. Pemilihan kompresor pengganti didasarkan pada kesesuaian aplikasi dengan refrigeran R134a, tegangan dan frekuensi operasi, serta dimensi pemasangan agar sesuai dengan sistem perpipaan dan ruang kompresor.

Tabel 4. Perbandingan spesifikasi teknis kompresor QD52H dan *highly* C-BF053L4A

Parameter	QD52H (Lama)	Highly C-BF053L4A (Pengganti)
Daya nominal	1/6 HP (≈124 W mekanis; ≈150–160 W input listrik)	1/6 HP setara (≈142–170 W input listrik)

Displacement	5,2 cm ³ /rev	≈5,3 cm ³ /rev (estimasi dari kelas daya yang setara)
Jenis oli pelumas	Oli POE (polyolester), standar untuk R134a	Oli POE (polyolester), standar untuk R134a
Rentang aplikasi	LBP/MBP	LBP
Tegangan frekuensi operasi	220 V / 50 Hz	220 V / 50 Hz
Refrigeran kompatibel	R134a	R134a

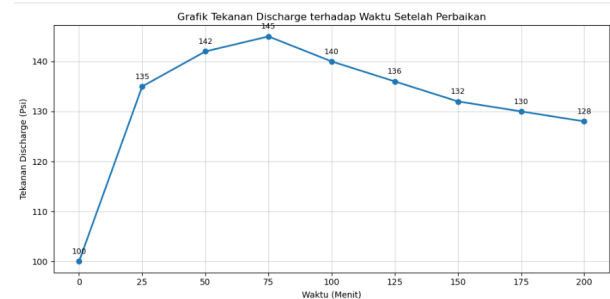
Waktu (Menit)	Tekanan Discharge (Psi)	Suhu Dinding (°C)	Arus (A)	Catatan Kondisi Fisik
125	136	-8,5	0,88	Pembekuan ruang mulai merata
150	132	-14,3	0,85	Beban kompresor berkurang seiring penurunan suhu ruang
175	130	-18,7	0,83	Mendekati suhu operasional standar freezer
200	128	-20,7	0,80	Suhu target tercapai, kompresor mulai siklus on/off normal

3.5 Hasil Pengujian Setelah Perbaikan

Pengujian setelah perbaikan dilaksanakan dalam dua skenario: tanpa beban (*freezer* kosong) dan dengan beban nyata 15 kg daging sapi selama 7 jam, dengan prosedur dan kondisi identik dengan pengujian sebelum perbaikan.

Tabel 5. Data pengukuran setelah perbaikan (Tanpa beban)

Waktu (Menit)	Tekanan Discharge (Psi)	Suhu Dinding (°C)	Arus (A)	Catatan Kondisi Fisik
0	100	28,5	1,20	Kompresor baru dinyalakan (suhu ruang)
25	135	25,3	0,95	Fase awal, pipa evaporator mulai dingin
50	142	16,5	0,98	Kondensasi maksimal, kalor mulai dilepaskan
75	145	6,3	0,96	Temperatur dinding kabinet melewati titik embun
100	140	-1,1	0,92	Dinding evaporator mulai membeku



Gambar 2. Grafik Tekanan Discharge terhadap Waktu Setelah Perbaikan

Tekanan *discharge* naik cepat dari 100 psig menuju puncak 145 psig pada menit ke-75 (batas bawah normal R134a), kemudian menurun bertahap menuju steady state 128 psig pada menit ke-200. Pola ini merupakan karakteristik operasi normal: tekanan *discharge* mencapai puncak saat beban termal masih tinggi, kemudian menurun seiring ruang *freezer* semakin dingin [2].

3.6 Pengujian dengan Beban Daging Sapi 15 kg

Pengujian tambahan dilakukan dengan memasukkan 15 kg daging sapi segar untuk mengevaluasi performa dalam kondisi

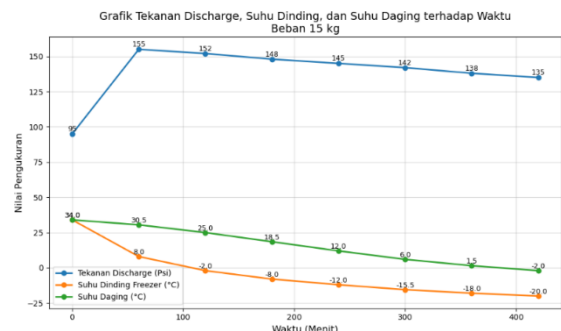
operasional nyata selama 7 jam (420 menit) dengan interval 60 menit.

Tabel 6. Data Pengujian Setelah Perbaikan dengan Beban Daging Sapi 15 kg (7 Jam)

Waktu (Menit)	Tekanan (Psi)	Suhu Dinding (°C)	Suhu Daging (°C)	Arus (A)	Catatan Lapangan
0	95	34,0	34,0	1,74	Kondisi awal operasi, beban termal tinggi;
60	155	8,0	30,5	1,55	Kondensor melepaskan kalor besar dari produk
120	152	-2,0	25,0	1,42	Penurunan suhu produk melambat akibat inersia termal
180	148	-8,0	18,5	1,31	Lapisan es mulai terbentuk
240	145	-12,0	12,0	1,20	Permukaan mulai mendingin
300	142	-15,5	6,0	1,12	Penetrasi termal berlanjut menuju lapisan dalam produk
360	138	-18,0	1,5	1,05	Produk mendekati titik beku air; beban kompresor berkurang

Waktu (Menit)	Tekanan (Psi)	Suhu Dinding (°C)	Suhu Daging (°C)	Arus (A)	Catatan Lapangan
420	135	-20,0	-2,0	0,98	Pembekuan awal pada permukaan produk; tekanan <i>discharge</i> stabil pada 135 Psig

Arus kompresor mencapai 1,74 A saat start, jauh lebih tinggi dari pengujian tanpa beban (1,20 A), mencerminkan beban termal yang lebih besar. Tekanan *discharge* puncak 155 psig tetap dalam rentang normal R134a. Suhu dinding mencapai $-20,0^{\circ}\text{C}$ dan suhu daging $-2,0^{\circ}\text{C}$ setelah 7 jam, menandakan fase pembekuan awal pada permukaan produk [3].



Gambar 3. Grafik Pengujian dengan Beban Daging Sapi 15 kg selama 7Jam

3.7 Analisis Laju Pendinginan

Laju pendinginan dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$R = (T_{\text{awal}} - T_{\text{akhir}}) / \Delta t$$

Dengan R adalah laju pendinginan ($^{\circ}\text{C}/\text{menit}$), Tawal suhu awal interval ($^{\circ}\text{C}$), Takhir suhu akhir interval ($^{\circ}\text{C}$), dan Δt selang waktu (menit).

Tabel 7. Laju Pendinginan Sebelum Perbaikan per Interval Waktu

Interval	Tawal (°C)	Takhir (°C)	ΔT (°C)	Δt (mnt)	R (°C/mnt)
0 → 20	28,8	25,8	3,0	20	0,150
20 → 40	25,8	23,5	2,3	20	0,115
40 → 60	23,5	19,7	3,8	20	0,190
60 → 80	19,7	18,4	1,3	20	0,065
80 → 100	18,4	14,5	3,9	20	0,195
100 → 120	14,5	13,6	0,9	20	0,045
120 → 140	13,6	12,5	1,1	20	0,055
140 → 180	12,5	12,0	0,5	40	0,013
180 → 200	12,0	12,0	0,0	20	0,000
TOTAL (0→200)	28,8	12,0	16,8	200	0,084

Laju pendinginan rata-rata sebelum perbaikan adalah 0,084°C/menit. Mulai menit ke-180 laju pendinginan mendekati nol, menandakan stagnasi suhu.

$$\Delta T_{total} = 28,8 - 12,0 = 16,8^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{total} = 200 \text{ mnt}$$

$$R_{(rata-rata)} = \frac{16,8}{200} = 0,084$$

Tabel 8. Laju Pendinginan Setelah Perbaikan (Tanpa Beban) per Interval Waktu

Interval	Tawal (°C)	Takhir (°C)	ΔT (°C)	Δt (mnt)	R (°C/mnt)
0 → 25	28,5	25,3	3,2	25	0,128
25 → 50	25,3	16,5	8,8	25	0,352
50 → 75	16,5	6,3	10,2	25	0,408
75 → 100	6,3	-1,1	7,4	25	0,296

Interval	Tawal (°C)	Takhir (°C)	ΔT (°C)	Δt (mnt)	R (°C/mnt)
100 → 125	-1,1	-8,5	7,4	25	0,296
125 → 150	-8,5	-14,3	5,8	25	0,232
150 → 175	-14,3	-18,7	4,4	25	0,176
175 → 200	-18,7	-20,7	2,0	25	0,080
TOTAL	28,5	-20,7	49,2	200	0,246

Laju pendinginan rata-rata setelah perbaikan tanpa beban adalah 0,246°C/menit. Laju tertinggi 0,408°C/ menit terjadi pada interval 50–75 menit, mencerminkan fase kondensasi dan evaporasi maksimal [7].

$$\Delta T_{total} = 28,5 - (-20,7) = 49,2^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{total} = 200 \text{ mnt}$$

$$R_{rata-rata} = \frac{49,2}{200} = 0,246^{\circ}\text{C/mnt}$$

Tabel 8. Laju Pendinginan Setelah Perbaikan dengan Beban Daging Sapi 15 kg

Interval	Tawal Dinding	Takhir Dinding	Tawal Daging	Takhir Daging	R Dinding	R Daging
0 → 60	34,0	8,0	34,0	30,5	0,433	0,058
60 → 120	8,0	-2,0	30,5	25,0	0,167	0,092
120 → 180	-2,0	-8,0	25,0	18,5	0,100	0,108
180 → 240	-8,0	-12,0	18,5	12,0	0,067	0,108
240 → 300	-12,0	-15,5	12,0	6,0	0,058	0,100
300 → 360	-15,5	-18,0	6,0	1,5	0,042	0,075

Interval	Tawal Dinding	Takhir Dinding	Tawal Daging	Takhir Daging	R Dinding	R Daging
360 → 420	-18,0	-20,0	1,5	-2,0	0,033	0,058
TOTAL (0 → 420)	34,0	-20,0	34,0	-2,0	0,129	0,086

Rumus Laju pendinginan dinding rata-rata $0,086^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Perbedaan ini sesuai hukum perpindahan panas, di mana laju pendinginan berbanding terbalik dengan massa dan kapasitas kalor bahan [9].

$$\Delta T_{\text{total}} = 34,0 - (-20,0) = 54,0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{total}} = 420 \text{ mnt}$$

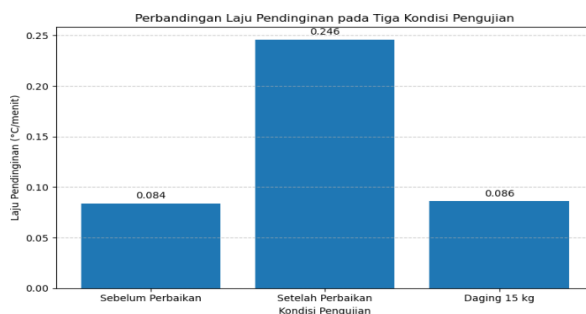
$$R_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta T_{\text{total}}}{t_{\text{total}}} = \frac{54,0}{420} = 0,129^{\circ}\text{C}/\text{mnt}$$

Rumus laju pendinginan daging 15 kg rata rata

$$\Delta T_{\text{total}} = 34,0 - (-2,0) = 36,0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{total}} = 420 \text{ mnt}$$

$$R_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta T_{\text{total}}}{t_{\text{total}}} = \frac{36,0}{420} = 0,086^{\circ}\text{C}/\text{mnt}$$



Gambar 4. Perbandingan Laju Pendinginan pada Tiga Kondisi Pengujian

Laju pendinginan meningkat 192,9% setelah perbaikan dari $0,084^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ menjadi $0,246^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ pada kondisi tanpa beban), mengonfirmasi pemulihan kapasitas pemindahan panas sistem secara penuh. Langkah perhitungannya:

Persentase Peningkatan

$$= \frac{N_{\text{setelah}} - N_{\text{sebelum}}}{N_{\text{sebelum}}} \times 100\%$$

$$0,246 - 0,084 = 0,162 \quad \frac{0,162}{0,084} \times 100\% = 1,92857 \times 100\% = 192,9\%$$

3.8 Analisis Persentase Peningkatan Tekanan Discharge

$$P = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} \times 100\%$$

Tabel 8. Persentase Peningkatan Tekanan Discharge

Parameter	Sebelum (P1)	Sesudah (P2)	Selisih	Peningkatan
Tekanan Discharge rata-rata (psi)	103,0	132,0	+29,0	+28,2%
Tekanan Discharge puncak (psi)	110	145	+35	+31,8%
Tekanan Discharge akhir (psi)	100	128	+28	+28,0%

Berdasarkan Tabel 8, dengan $P_1 = 103,0 \text{ psi}$ dan $P_2 = 132,0 \text{ psi}$, diperoleh $P = \frac{(132,0 - 103,0)}{103,0} \times 100\% = \frac{29,0}{103,0} \times 100\% = 28,2\%$

Peningkatan tekanan discharge rata-rata sebesar 28,2% merupakan hasil yang signifikan secara teknis. Tekanan puncak sesudah perbaikan mencapai 145 psig, tepat pada batas bawah standar normal R134a. Penurunan tekanan secara bertahap setelah puncak merupakan respons normal sistem yang

beroperasi efisien saat beban termal berkurang [2].

Tabel 9. Analisis Komparatif Lengkap Parameter Sistem Refrigerasi

Parameter	Sebelum (QD52H)	Sesudah – Tanpa Beban	Sesudah – Beban 15 kg
Tekanan <i>discharge</i> rata-rata	103,0 psi	132,0 psi (+28,0%)	138,8 psi (+34,8%)
Tekanan <i>discharge</i> puncak	110 psi	145 psi (+31,8%)	155 psi (+40,9%)
Suhu dinding terendah tercapai	12,0°C	-20,7°C	-20,0°C
Suhu target (-18°C) tercapai	Tidak	Ya (menit ke-175)	Ya (menit ke-360)
Laju pendinginan rata-rata (R)	0,084 °C/menit	0,246 °C/menit	0,129 °C/menit (dinding)
Arus kompresor awal	0,90 A	1,20 A	1,74 A
Arus steady state	0,73 A	0,80 A	0,98 A
Pembentukan frost	Tidak ada	Sempurna (mnt 100)	Menit ke-180
Waktu capai suhu target	Tidak tercapai	200 menit (-20,7°C)	420 menit (dinding -20°C)
Operasi kompresor	Kontinu (tidak off)	Siklus on/off normal	Siklus on/off normal

Hasil komparatif menunjukkan perbaikan menyeluruh pada seluruh parameter performa sistem refrigerasi. Suhu target -18°C berhasil dicapai pada menit ke-175 (tanpa beban), dibandingkan kondisi sebelum perbaikan yang tidak pernah mencapai target tersebut. Arus kompresor yang lebih tinggi setelah perbaikan (0,80 A steady state dibandingkan 0,73 A sebelumnya) mencerminkan kompresor yang melakukan kerja kompresi efektif, bukan indikasi pemborosan energi [8]. Hasil ini mengindikasikan bahwa analisis tekanan

discharge berpotensi digunakan sebagai metode diagnostik non-destruktif untuk mendeteksi degradasi performa sistem refrigerasi domestik [1], [5], meskipun generalisasi hasil ini masih memerlukan validasi lebih lanjut.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil di atas. Pengujian hanya dilakukan pada satu unit *freezerbox* tanpa pengulangan, sehingga variabilitas antar-unit dan pengaruh faktor acak belum dapat dievaluasi secara statistik. Selain itu, pada pengujian beban 15 kg daging sapi selama 7 jam, suhu inti produk baru mencapai -2,0°C, yang menunjukkan produk belum mengalami pembekuan tuntas (*deep freezing*) hingga akhir periode pengamatan. Dengan demikian, kesimpulan mengenai efektivitas metode diagnostik ini bersifat indikatif dan memerlukan validasi lanjutan melalui pengujian pada beberapa unit sejenis.

4. Kesimpulan

Kompresor QD52H menunjukkan penurunan kemampuan kompresi, ditandai tekanan *discharge* rata-rata 103,0 psi, di bawah standar R134a sebesar 145–185 psi. Kondisi tersebut menyebabkan suhu *freezer* hanya mencapai 12,0°C dengan laju *pendinginan* 0,084°C/menit. Setelah diganti dengan Highly C-BF053L4A, tekanan meningkat 28,2% menjadi 132,0 psi, suhu mencapai -20,7°C, dan laju *pendinginan* naik 192,9% menjadi 0,246°C/menit. Pada beban 15 kg daging sapi selama 7 jam, suhu dinding mencapai -20,0°C dan suhu daging -2,0°C. Hasil ini menunjukkan bahwa tekanan *discharge* berpotensi sebagai indikator diagnostik non-destruktif, meskipun validitasnya masih perlu dikaji melalui pengujian beberapa unit, analisis ketidakpastian, dan perbandingan dengan metode diagnostik lain.

5. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan beberapa unit *freezerbox* dengan merek dan kapasitas berbeda untuk menguji generalisasi hasil penelitian. Analisis efisiensi termodinamika juga perlu dilengkapi dengan

pengukuran Coefficient of Performance (COP) secara langsung menggunakan kalorimeter. Selain itu, pemantauan tekanan *discharge* secara berkala dapat dipertimbangkan sebagai perawatan preventif, terutama pada *freezerbox* yang telah beroperasi lebih dari tiga tahun, untuk mendeteksi indikasi awal degradasi kompresor.

Pengujian berikutnya perlu mencakup pengulangan pada beberapa unit sejenis, analisis ketidakpastian pengukuran secara kuantitatif, serta perbandingan spesifikasi kompresor secara rinci, meliputi daya, displacement, dan kapasitas pendinginan. Hal ini diperlukan untuk memastikan peningkatan performa benar-benar berasal dari pemulihan fungsi mekanis, bukan akibat perbedaan kapasitas kompresor.

6. Daftar Pustaka

- [1] D. Romansdani, A. Pudir, dan W. B. Mursanto, "Monitoring arus dan temperature discharge kompresor berbasis IoT (Internet of Things) untuk kebutuhan preventive maintenance," *Jurnal Surya Teknika*, vol. 11, no. 1, pp. 449–454, 2024.
- [2] R. Muliawan, A. N. Fadhillah, dan A. S. Kurnia Setiawati, "Pengaruh pergantian refrigeran R134a menjadi R600a terhadap kinerja sistem boks pendingin," dalam *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, Politeknik Negeri Bandung, vol. 15, no. 1, 2024.
- [3] K. H. Sugara, A. Syarif, R. Hidayat, dan Y. Kurniawan, "Perbandingan performansi mesin refrigerasi kompresi uap chest freezer menggunakan pipa kapiler dan orifice," *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 7, no. 1, 2021.
- [4] A. I. Rifa'i, B. Hidayati, H. Sumarna, dan T. Okviyanto, "Pengaruh tekanan refrigeran R-134a terhadap nilai coefficient of performance (COP)," *Jurnal Inovator*, vol. 3, no. 2, pp. 9–12, 2020.
- [5] W. H. Setiawan, M. Pahrurrozi, A. Wisaksono, dan R. Febriansyah, "Monitoring tekanan freon dan beban arus kompresor untuk pemeliharaan prediktif sistem pendingin udara berbasis IoT," *Jurnal Teknik Industri dan Informatika (TIN)*, 2025.
- [6] A. Amrullah, Z. Djafar, dan W. H. Piarah, "Analisa kinerja mesin refrigerasi rumah tangga dengan variasi refrigeran," *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [7] Samsi, A. Hermawan, T. Binardi, P. Dewi, M. Ilham, dan I. B. Rahardja, "Analisa beban pendingin produk pada contact plate freezer terhadap kinerja kompresor," *Jurnal Teknologi*, vol. 15, no. 2, Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2023.
- [8] R. Mahardika, G. G. Maulana, S. Aminah, dan F. A. Rahman, "Analisis efisiensi kerja kompresor pada mesin refrigerasi," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 5, no. 1, pp. 86–95, 2022.
- [9] B. Hidayati, R. D. Sampurno, Z. Anwar, A. I. Rifa'i, H. Sumarna, T. Okviyanto, dan T. S. Ramadhoni, "Analisis efisiensi chest freezer untuk ikan gabus kapasitas 5 kg," *Jurnal Teknik Mesin dan Industri (JuTMI)*, vol. 2, no. 2, pp. 19–23, 2023.