



DEVELOPMENT OF MRV FUNCTION MODE FOR PRACTICAL LEARNING IN REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING SYSTEM

Mutaufiq Mutaufiq^{1*}, Asep A. R. Irwanto², Ega Taqwali Berman³, Kamin Sumardi⁴

^{1,3,4}Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, FPTI, Universitas Pendidikan Indonesia
Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, FPTI, Universitas Pendidikan Indonesia
Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung, Indonesia
Taufiq_top@upi.edu*

ABSTRACT/ABSTRAK

Recovery and Vacuum Machine (MRV) is a refrigerant recovery tool in practical courses, so that refrigerant is not wasted during practicum. MRV is important to develop in order to improve practicum services. This study aims to develop MRV so that it can carry out the refrigerant recycle-recovery and recharging processes practically. MRV development is carried out experimentally through a research and development approach. The MRV trial results were carried out on a refrigerator type cooling machine. Testing to determine the performance of the MRV when working on vacuum, recovery-recycle, and refrigerant recharge modes automatically and to determine the performance of the refrigerator after recovery-recycle. The results of the development in the form of a new MRV construction with dimensions of 55 cm x 49 cm x 55.5 cm have been realized. MRV testing shows that the MRV results can work on vacuum, recovery-recycle and refrigerant recharging modes well at a Vacuum time setting of 10 minutes, recovery-recycle 5 minutes, and recharging 5 minutes. In addition, the refrigerator performance observed through the parameters of evaporator cabin temperature, electrical power, and compressor pressure showed good results.

Mesin *Recovery* dan *Vacuum* (MRV) merupakan alat bantu *recovery* refrigeran pada mata kuliah praktik, agar refrigeran tidak terbuang sia-sia saat praktikum. MRV penting dikembangkan agar dapat meningkatkan layanan praktikum. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan MRV agar dapat melakukan proses *recycle-recovery* refrigeran serta *recharging* secara praktis. Pengembangan MRV dilakukan secara eksperimen melalui pendekatan *research and development*. Uji coba MRV hasil dilakukan pada mesin pendingin jenis refrigerator. Pengujian untuk mengetahui performa MRV saat mengerjakan mode *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharge* refrigeran secara otomatis serta mengetahui performa refrigerator setelah *recovery-recycle*. Hasil pengembangan berupa konstruksi baru MRV dengan dimensi 55 Cm x 49 Cm x 55,5 Cm telah terealisasi. Pengujian MRV menunjukkan bahwa MRV hasil dapat mengerjakan mode fungsi *vacuum*, *recovery-recycle* dan *recharging* refrigeran dengan baik pada seting waktu *Vacuum* selama 10 menit, *recovery-recycle* 5 menit, serta *recharging* 5 menit. Selain itu performa refrigerator yang diamati melalui parameter temperatur kabin evaporator, daya listrik, dan tekanan kompresor menunjukkan hasil baik.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received
23 March 2025

First Revised
27 April 2025

Accepted
15 June 2025

Online Date
27 June 2025

Publication Date
30 June 2025

Keywords:

cooling machine; recharge;
recovery; recycle;
refrigerant.

Kata kunci:

mesin pendingin; recharge;
recovery; recycle;
refrigeran.

1. PENDAHULUAN

Mesin *Recovery* dan *Vacuum* (MRV) hasil rancang bangun penelitian dana UPI pada tahun 2017 dapat dipakai sebagai alat pendukung praktikum yang menggunakan mesin pendingin. Alat ini dapat *me-recovery* (memulihkan kembali) refrigeran dari mesin pendingin (1–3), sehingga refrigeran tidak terbuang percuma saat kegiatan praktikum. Catatan kegiatan menunjukkan bahwa MRV dapat *me-recovery* refrigeran dari mesin pendingin refrigerator sebanyak 97,56 % dan *split Air Conditioning* (AC) sebanyak 98,55 % (4). Hasil *recovery* refrigeran yang sangat baik ini, ternyata masih belum mampu memastikan refrigeran terbebas dari oli kompresor saat beroperasi. Konstruksi MRV yang minimalis, menyebabkan alat ini belum bisa memisahkan oli-refrigeran hasil *recovery* dan tidak bisa melakukan proses *recharging* (pengisian kembali) refrigeran secara otomatis ke mesin pendingin. Sehingga MRV penting untuk dikembangkan.

Pengembangan mesin *recovery* telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Untuk mendapatkan mesin *recovery* refrigeran yang sesuai dengan kebutuhan telah dilakukan redesain mesin 3R (*Recovery, Recycle, Recharging*). Tujuan penelitian untuk memperoleh suatu rancangan produk sistem pengolahan limbah refrigeran (refrigeran *recovery* dan *recycle*) serta mengetahui metode kerja / *Coefficient of Performance* (COP) mesin pendingin yang menggunakan refrigeran Chlorofluorocarbon (CFC) R-12 hasil *recovery* dan *recycle* dibandingkan dengan refrigeran CFC R-12/R134a murni. Metode penelitian dengan cara merancang ulang dan memodifikasi mesin 3R yang sudah tidak dapat berfungsi lagi. Hasil penelitian berupa produk rancangan ulang alat pengolah limbah refrigeran dapat digunakan kembali dan mampu melakukan proses *recovery, recycle, dan recharging*, menggunakan sistem kontrol semi otomatis (5).

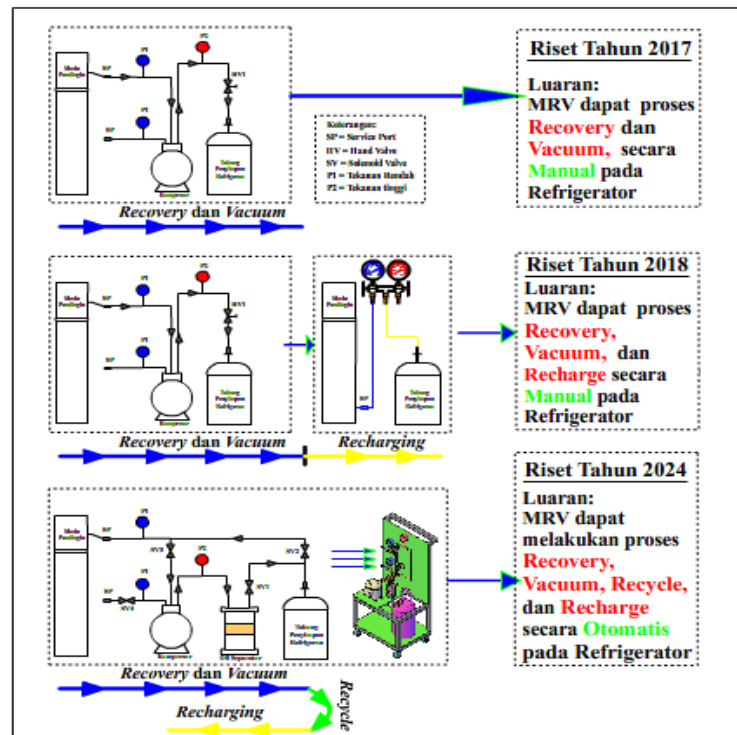
Pada MRV, pemecahan masalah didekati dengan melakukan modifikasi konstruksi sistem perpipaan MRV dan menambahkan modul kontrol yang praktis. Sistem perpipaan MRV ditambahkan filter pemisah oli. Sehingga saat proses *recovery*, MRV dapat sekaligus melakukan fungsi *recycle* (memisahkan oli). Kemudian keran manual jenis *Hand Valve* (HV) untuk mengatur aliran refrigeran diganti dengan keran elektronik jenis *Solenoid Valve* (SV). Katup jenis SV bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik untuk membuka dan menutup saluran [6]. Sehingga aliran refrigeran mudah diatur dengan menghidupkan/mematikan SV melalui modul kontrol. Arah aliran refrigeran dalam perpipaan MRV diatur melalui modul kontrol agar dapat menyesuaikan fungsi proses yang harus dijalankan oleh MRV. Terakhir pengembangan sistem kelistrikan MRV dilakukan agar dapat melakukan fungsi *ON/OFF* dan penundaan waktu (*time delay*) secara otomatis.

Ini dilakukan agar fungsi proses MRV seperti *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharge* dapat dijalankan sesuai kebutuhan.

2. METODE PENELITIAN

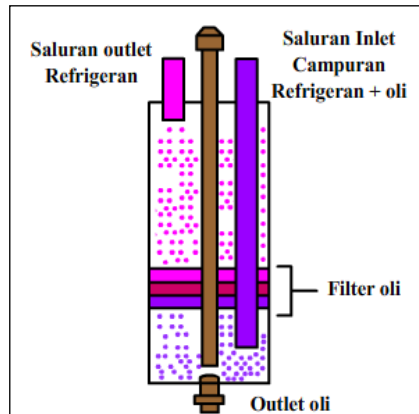
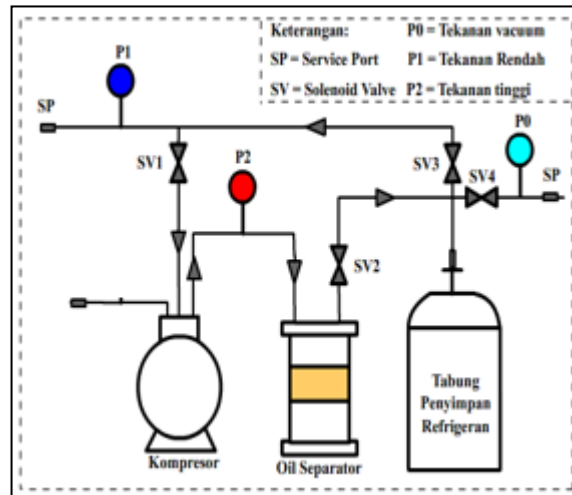
Metode Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mode fungsi MRV yang hanya bisa mem-*Vacuum* dan me-*recovery* secara manual menjadi mode fungsi *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharging* (pengisian kembali refrigeran) secara otomatis ke mesin pendingin. Untuk mencapai tujuan ini, penelitian dirancang secara eksperimen melalui pendekatan *research* dan *development* yang meliputi *concept design*, *collecting material*, *assembly*, dan ujicoba. Desain sistem perpipaan MRV dimodifikasi agar dapat melakukan fungsi proses *recovery-recycle* dan *recharge* secara otomatis. Sistem perpipaan MRV yang masih menggunakan keran manual (*hand valve*) diganti dengan keran elektronik jenis *solenoid valve* (SV). Kemudian ditambahkan sistem pemisah oli agar refrigeran yang masuk ke tabung penyimpanan sementara tidak tercampur dengan oli kompresor. Pengembangan desain MRV di tampilkan pada gambar 1 diagram alur penelitian MRV dari tahun 2017 sampai tahun 2024.

Berdasarkan gambar 1, konsep dasar untuk mendisain MRV didasarkan pada kebutuhan praktikum yang menggunakan mesin pendingin di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara Universitas Pendidikan Indonesia. Pada tahun 2017 telah dirancang bangun MRV dengan konstruksi sederhana. MRV hanya dirancang agar dapat melakukan *recovery* dan *Vacuum* secara manual. Ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan mendasar praktikum yang menggunakan mesin pendingin yaitu agar refrigeran tetap terjaga keberadaannya (tidak terbang). Selanjutnya pada tahun 2018, dilakukan uji refrigeran hasil *recovery* MRV dengan dengan cara mengisikan kembail (*recharge*) refrigeran ke mesin pendingin secara manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin pendingin dapat bekerja dengan baik. Angka prestaso yang ditunjukkan oleh COP (*Coefficient of Performance*) hanya turun sampai 7,37% untuk mesin pendingin jenis refrigerator dan turun sampai 1,98% untuk mesin pendingin jenis AC split (6). Hasil ini menunjukkan bahwa MRV layak digunakan sebagai alat bantu praktikum yang menggunakan mesin pendingin. Selanjutnya pada tahun 2024 telah dilakukan riset untuk mengembangkan MRV sesuai kebutuhan praktikum yang praktis dan efisien. Pengembangan mode fungsi MRV agar dapat bekerja secara otomatis untuk melakukan fungsi kerja *vacuum*, *recovery*, dan *recharger*, dirasa sangat penting. Ini dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan layanan praktikum yang menggunakan mesin pendingin.



Gambar 1. Diagram alur pengembangan MRV

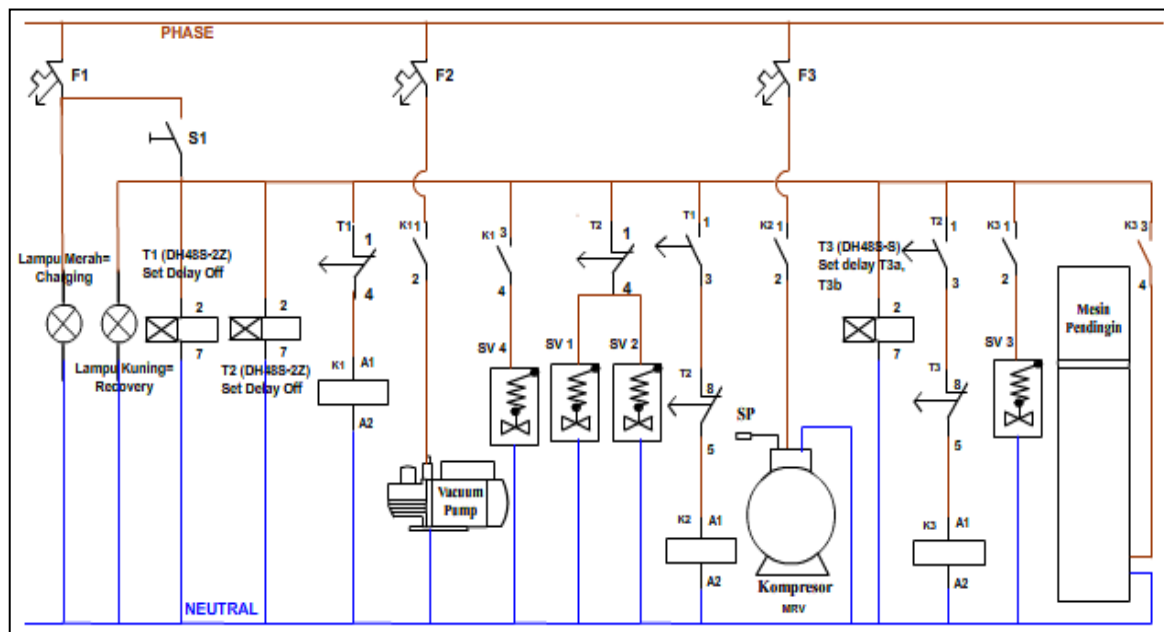
Selanjutnya alat pemisah oli-refrigeran dengan konstruksi sesuai kebutuhan, penting ditambahkan pada perpipaan MRV pengembangan. Berdasarkan sifat fisik refrigeran dan oli yang masuk ke dalam kompresor, wujud refrigeran berfasa gas (*vapor*) dan oli berfasa cair (*liquid*) (7). Perbedaan wujud fisik kedua fluida di dalam kompresor dapat digunakan sebagai rujukan untuk menentukan konstruksi sistem pemisah oli dan refrigeran yang cocok untuk pengembangan MRV. Gambar 2 merupakan pendekatan ilustrasi konstruksi filter yang digunakan sebagai alat pemisah oli-refrigeran. Konstruksi ini dipilih karena oli (berwujud cair) memiliki massa jenis lebih besar dibandingkan refrigeran (berwujud gas). Sehingga oli cenderung akan berada di bawah dan refrigeran cenderung akan mengalir ke atas. Untuk menjaga kemurnian refrigeran dipasang sekat (filter oli) untuk mencegah oli melewati ruang bagian bawah. Sekat (filter oli) dirancang dapat dilewati refrigeran, sehingga refrigeran akan mengalir ke atas dan ke luar melalui saluran outler refrigeran ke tabung penyimpanan.

Gambar 2. Konstruksi *oil*Gambar 3. Sistem perpipaan Mesin *Recovery* dan *Vacuum* (MRV)

Selain penambahan sistem pemisah oli, perlu didesain sebuah modul kontrol yang dapat membantu agar fungsi proses pada MRV dapat bekerja sesuai keinginan. Modul kontrol dibutuhkan agar dapat menghidupkan/mematikan *Solenoid valve* yang bertugas untuk mengatur arah aliran refrigeran di dalam sistem perpipaan MRV. Selain itu modul kontrol juga harus bisa melakukan fungsi penunda waktu agar fungsi proses *me-recovery*, *mem-vacuum*, *me-recycle*, dan *recharge* dapat berlangsung secara periodik sesuai kebutuhan.

Pengumpulan alat dan bahan (*collecting material*) dilakukan untuk menghasilkan konstruksi pengembangan MRV baru. Untuk menghasilkan konstruksi baru MRV, dibutuhkan alat dan bahan sesuai desain sistem perpipaan dan sistem kelistrikan pada gambar 3 sistem perpipaan Mesin *Recovery* dan *Vacuum* (MRV) hasil pengembangan dan gambar 4 sistem kelistrikan Mesin *Recovery* dan *Vacuum* (MRV) hasil pengembangan. Berdasarkan sistem perpipaan pada gambar 3, alat dan bahan yang dibutuhkan untuk sistem perpipaan yaitu sebuah kompresor hermetik untuk memompa refrigeran, sebuah pompa *Vacuum* untuk mengosongkan fluida dan kotoran dari sistem perpipaan, alat pemisah refrigeran-oli, empat buah *solenoid valve* untuk mengatur arah aliran refrigeran, satu rol pipa tembaga $\frac{1}{4}$ in, manometer untuk mengukur tekanan, dan tabung sebagai tempat penyimpanan refrigeran murni sementara. Selain pengembangan pada sistem perpipaannya, sistem kontrol MRV juga dikembangkan agar dapat melakukan fungsi *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharge* secara otomatis. Peralatan dan bahan yang dibutuhkan diantaranya tiga kontaktor 220V, tiga unit MCB 1 phase 4A sebagai pengaman arus lebih dan hubung

singkat, dua unit *timer* DH48S-S, satu unit *timer* DH48S-2Z, kabel serabut, dan dua buah lampu indikator.



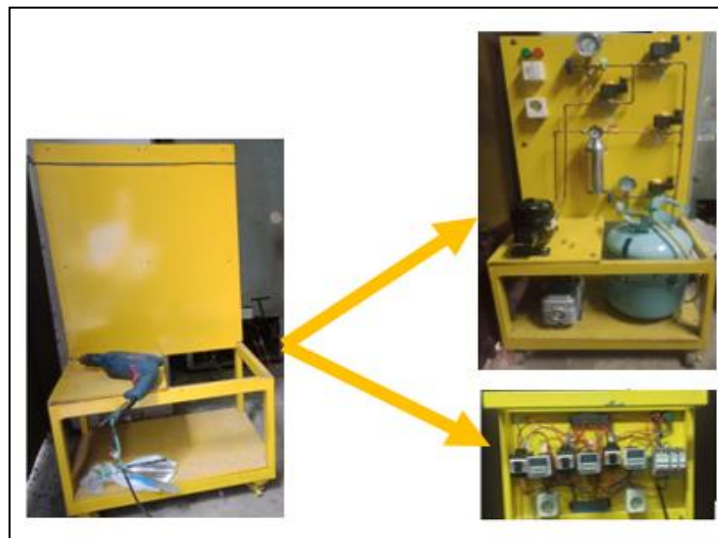
Gambar 4. Sistem kelistrikan MRV

Tahap selanjutnya, peralatan dan bahan yang sudah terkumpul di rakit (*assembly*) pada sebuah meja peraga sesuai rancangan pengembangan MRV. Gambar 5 menyajikan kegiatan perakitan sistem perpipaan dan sistem kelistrikan MRV. Perakitan menggunakan alat dan bahan sesuai gambar perpipaan dan kelistrikan sampai fungsi kerja MRV sesuai rancangan. Saat alat MRV mulai beroperasi, maka mode fungsi pertama yang harus dijalankan adalah proses pemvakuman sistem perpipaan alat MRV itu sendiri. Pada mode ini seluruh fluida dan kotoran yang ada di dalam perpipaan alat MRV akan di keluarkan ke lingkungan oleh pompa vakum. Setelah proses pemvakuman selesai, secara otomatis alat MRV akan berpindah ke mode fungsi *recovery-recycle* yang berlangsung sesuai setelan *timer*. Saat mode *recovery*, seluruh refrigeran yang ada pada mesin pendingin dihisap oleh kompresor MRV kemudian masuk ke filter untuk proses pemisahan oli-refrigeran. Setelah proses pemisahan oli-refrigeran, refrigeran murni akan masuk ke dalam tabung penyimpanan refrigeran sementara. Selanjutnya setelah proses *recovery* selesai, secara otomatis MRV akan berpindah ke mode *charging* yaitu pengisian kembali refrigeran yang sudah di pisahkan olinya ke mesin pendingin. Cara kerja MRV secara lengkap dapat dijelaskan melalui gambar 4 sistem kelistrikan MRV.

Berdasarkan gambar 4 sistem kelistrikan MRV, pada saat saklar di-*on*-kan, maka arus listrik akan mengalir ke kumparan *timer* (penghitung waktu) 1 (T1), *timer* 2 (T2), dan *timer* 3 (T3). Sehingga ketiga timer tersebut hidup dan waktu tunda (*delay*) mulai dihitung sesuai

setelan waktunya masing-masing. Saat arus listrik masuk ke kumparan timer, kumparan kontaktor 1 (K1) yang terhubung dengan NC (*Normally Close*) T1₁₋₄ akan *energize* mengakibatkan kontak-kontak nya akan berubah, NO (*Normally Open*) menjadi NC dan sebaliknya. Saat K1 *energize*, arus listrik mengalir ke pompa vakum melalui K1₁₋₂ dan *Solenoid Valve* (SV) 4 melalui K1₃₋₄, sehingga kedua komponen ini beroperasi. Disamping itu SV1 dan SV2 juga akan *energize* karena mendapatkan arus dari T2₁₋₄ sehingga suluran perpipaan MRV terbuka. Beroperasinya pompa vakum dan terbukanya SV1, SV2, dan SV4 menandakan MRV sedang beroperasi pada mode pemvakuman.

Selanjutnya setelah waktu tunda pada T1 selesai, maka kumparan K2 yang terhubung dengan kontak NO T1₁₋₃ dan kontak NC T2₅₋₈ mengakibatkan K2 *energize*. Saat K2 *energize* kontak-kontak nya akan berubah, NO (*Normally Open*) menjadi NC dan sebaliknya. Ini menyebabkan kompresor hermetik MRV yang terhubung dengan K2₁₋₂ beroperasi bersama dengan SV1 dan SV2. Sedangkan SV4 dan pompo vakum berhenti beroperasi karena waktu tunda pada T1 selesai. Pada kondisi ini, MRV sedang beroperasi pada mode *recovery* refrigeran.



Gambar 5. Perakitan (*assembly*) sistem perpipaan dan sistem kelistrikan MRV

Selanjutnya setelah waktu tunda pada T2 selesai, maka kompresor hermetik MRV berhenti beroperasi dan SV1, SV2 menutup. Kumparan K3 yang terhubung dengan kontak NO T2₁₋₃ dan kontak NC T3₅₋₈ mengakibatkan K2 *energize*. Sehingga SV3 akan terbuka salurannya dan mesin pendingin yang terhubung dengan input MRV akan mendapat suplay listrik. Sehingga kompresor hermetik mesin pendingin akan beroperasi menghisap refrigeran melalui SP (*Service Port*) MRV seperti ditunjukkan pada gambar 3 sistem perpipaan Mesin *Recovery* dan *Vacuum* (MRV). Pada kondisi ini, MRV sedang beroperasi pada mode

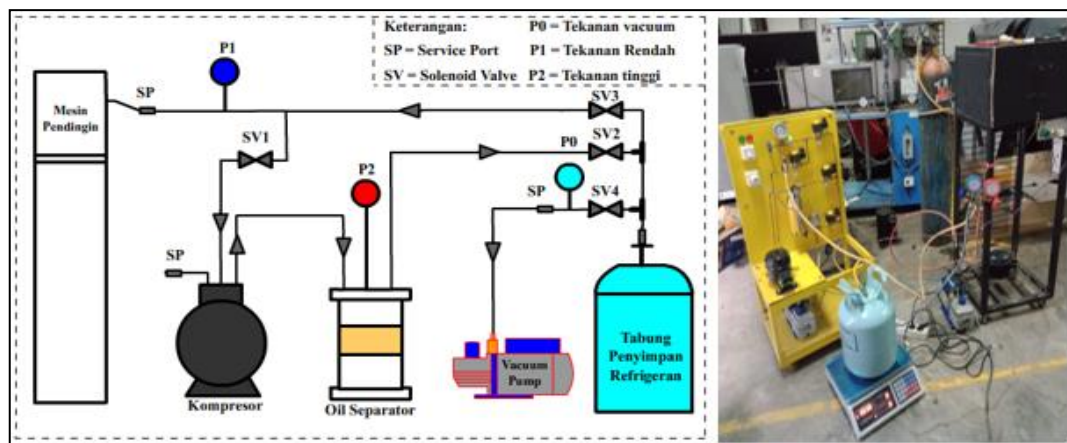
recharging refrigeran dari tabung penyimpanan MRV (refrigeran hasil *recovery-recycle*) ke mesin pendingin.

Selanjutnya ujicoba MRV hasil pengembangan penting dilakukan. Ini untuk mengetahui kehandalan MRV dalam melakukan mode fungsi *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharging* (pengisian kembali refrigeran) secara otomatis ke mesin pendingin. Pengujian dilakukan pada mesin pendingin jenis refrigerator. Skema pengujian MRV pada mesin pendingin jenis refrigerator ditunjukkan pada gambar 6 skema ujicoba MRV pada mesin pendingin refrigerator. Pengujian diawali dengan penyetelan *timer* untuk menentukan durasi waktu mode fungsi *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharging*. Ini dilakukan agar proses *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharging* berlangsung secara otomatis. Penyetelan waktu T1, T2, dan T3 pada *timer* DH48S-S dan DH48S-2Z harus mengikuti formula khusus. Jika waktu untuk mode pemvakuman = X menit, *recovery* = Y menit, dan *recharging* = Z menit, maka penyetelan waktu alat MRV sebagai berikut, T1 = X menit, T2 = X+Y menit, dan T3 = X+Y+Z menit.

Berdasarkan kegiatan praktikum menggunakan MRV sebelum dikembangkan, waktu yang dibutuhkan untuk mem-*Vacuum* refrigerator adalah 10 menit, untuk me-*recovery* refrigeran 5 menit, dan untuk *recharging* selama 5 menit. Sehingga penyetelan waktu untuk X = 10 menit, Y = 10 + 5 = 15 menit, dan Z = 10 + 5 + 5 = 20 menit. Parameter pengujian MRV diantaranya yaitu massa refrigeran yang dimasukkan ke mesin pendingin (gram), massa refrigeran yang dapat di *recovery* (gram), tekanan tabung hasil *recovery* (psig), waktu *recharging* (menit), waktu *recovery-recycle* (menit), tekanan mesin pendingin setelah di-*Vacuum* (psig), dan tegangan listrik yang masuk ke kompresor.

Pengujian MRV diawali dengan persiapan alat dan perlengkapan yang dibutuhkan untuk menguji kehandalan MRV. Kehandalan MRV diujicobakan pada mesin pendingin jenis refrigerator. Mula-mula refrigerator divakum sampai tekanannya mendekati -0,1 Mpa. Kemudian mesin yang sudah dalam kondisi vakum diisi dengan refrigeran R-134a sesuai dengan kapasitasnya yaitu 100 gram. Selanjutnya refrigerator dioperasikan selama 30 menit untuk mengetahui performa refrigerator sebelum di *recovery-recycle* dan *recharging*. Parameter performa refrigerator yang diamati yaitu penurunan temperatur di ruang evaporator, daya listrik, perubahan tekanan suction kompresor, dan perubahan tekanan discharge kompresor. Setelah sekitar 30 menit beroperasi, selanjutnya refrigerator dimatikan dan didiamkan agar mencapai kondisi asalnya. Kemudian setelah refrigerator mencapai kondisi asalnya, sistem perpipaan dan power listrik refrigerator dihubungkan dengan alat MRV. Selang biru manifold gauge dihubungkan dari *service port* tekanan rendah refrigerator

ke saluran input MRV. Sedangkan steker power refrigerator dihubungkan ke *output* kelistrikan MRV di dekat saklar *ON/OFF* MRV. Selanjutnya tekan saklar MRV pada kondisi *ON*. Setelah saklar MRV di-*ON*-kan, MRV akan beroperasi dari mode fungsi *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharging* secara otomatis sesuai dengan waktu kerja masing-masing mode operasi. Selanjutnya pengamatan performa saat mesin MRV beroperasi serta mencatat parameter pengujian sesuai dengan tabel 1 instrumen pengumpulan data pengujian Mesin *Recovery* dan *Vacuum*. Setelah proses *recharging* selesai, performa refrigerator diamati lagi seperti sebelum *recovery-recycle*.



Gambar 6. Skema uji coba MRV pada mesin pendingin refrigerator

3. HASIL PENELITIAN

Pengujian MRV hasil pengembangan telah dilakukan. Data hasil pengujian MRV pada mesin pendingin refrigerator disajikan pada tabel 1 data pengujian Mesin *Recovery* dan *Vacuum*. Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa MRV dapat bekerja sesuai dengan stelan waktu yang diinginkan pengguna. MRV mulai bekerja pada mode *Vacuum* selama 10 menit. Kemudian menjalankan mode *recovery-recycle* selama lima menit dan menjalankan mode fungsi *recharging* selama lima menit. Hasil pengukuran *Vacuum* refrigerator memperlihatkan bahwa MRV dapat mem-*Vacuum* refrigerator sampai tekanan di bawah -0,092 Mpa. Kemudian jumlah massa refrigeran yang dapat di *recovery* MRV sebanyak 55 % dari total jumlah refrigeran yang ada di dalam mesin pendingin refrigerator. Jumlah refrigeran yang dapat di *recovery* belum sesuai harapan sehingga perlu dicari penyebabnya. Sebelum membahas penyebab jumlah massa refrigeran yang dapat di *recovery* masih belum maksimal, perlu dibahas terlebih dahulu performa refrigerator sebelum di *recovery-recycle* dan performa refrigerator setelah di *recovery-recycle*.

Tabel 1 Data pengujian Mesin *Recovery* dan *Vacuum*

No.	Parameter	Satuan Pengukuran	Jenis Mesin Pendingin
			Refrigerator
1	Jenis refrigeran dalam mesin pendingin	-	R-134a
2	Massa refrigeran dalam mesin pendingin	gram	100
3	Massa refrigeran yang dapat di <i>recovery</i>	gram	55
4	Tekanan tabung sebelum di <i>recovery</i>	Mpa	0
5	Waktu <i>recharging</i>	menit	5
6	Waktu <i>recovery-recycle</i>	menit	5
7	Tekanan mesin pendingin setelah di- <i>vacuum</i>	Mpa	-0,092
8	Waktu mem- <i>vacuum</i>	menit	10
9	Tegangan listrik di kompresor	Volt	220

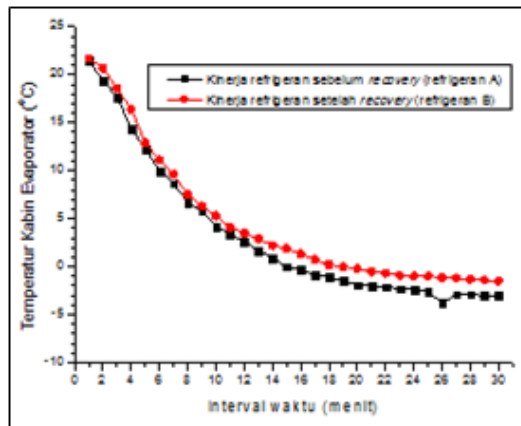
Keterangan: $T_{\text{lingkungan}} = 24,5^{\circ}\text{C}$.

4. PEMBAHASAN

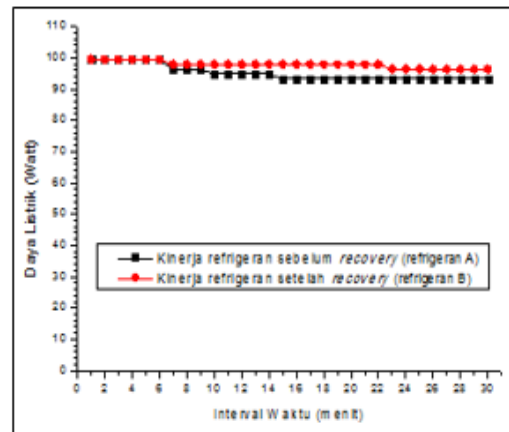
Parameter performa refrigerator yang telah diamati diantaranya yaitu temperatur, tekanan, dan energi listrik. Hasil pengamatan performa refrigerator disajikan pada gambar 7 sampai gambar 10. Performa refrigerator ditinjau dari parameter temperatur penting untuk diselidiki. Karena penurunan temperatur kabin evaporator dapat merepresentasikan performa dari refrigerator secara umum (8). Gambar 7 menunjukkan grafik temperatur kabin evaporator terhadap waktu. Berdasarkan gambar 7, performa (kinerja) refrigerator menggunakan refrigeran sebelum *recovery* (refrigeran A) atau menggunakan refrigeran setelah *recovery* (refrigeran B) hampir sama. Kedua data menampilkan penurunan temperatur kabin evaporator secara eksponensial selama 30 menit. Sejak menit ke-1 sampai menit ke-30, temperatur kabin refrigerator yang menggunakan refrigeran A, turun dari temperatur $21,5^{\circ}\text{C}$ sampai -3°C . Sedangkan temperatur kabin refrigerator yang menggunakan refrigeran B turun dari temperatur $21,7^{\circ}\text{C}$ sampai $-1,5^{\circ}\text{C}$. Data ini membuktikan bahwa performa refrigerator cukup baik saat menggunakan refrigeran sebelum *recovery-recycle* atau setelah *recovery-recycle*.

Performa refrigerator dapat dilihat berdasarkan daya listrik dari refrigerator. Semakin kecil daya refrigerator pada kapasitas pendinginan yang sama, maka performanya semakin baik (9). Pengamatan performa refrigerator selanjutnya dilihat melalui parameter pemakaian listrik yang ditunjukkan oleh gambar 8 grafik daya listrik terhadap waktu. Berdasarkan gambar 8, terpantau bahwa daya listrik yang dibutuhkan refrigerator untuk beroperasi hampir sama ditiap menitnya, selama 30 menit. Mulai menit ke-1 sampai menit ke-30, tercatat

refrigerator yang menggunakan refrigeran A membutuhkan daya listrik pada kisaran 93,33 Watt sampai 99,45 Watt. Sedangkan refrigerator yang menggunakan refrigeran B membutuhkan daya listrik dari 96,39 Watt sampai 99,45 Watt. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan daya listrik refrigerator hampir sama.

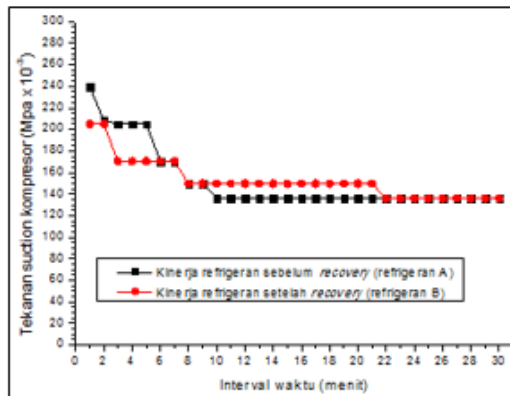


Gambar 7. Grafik temperatur kabin evaporator terhadap waktu

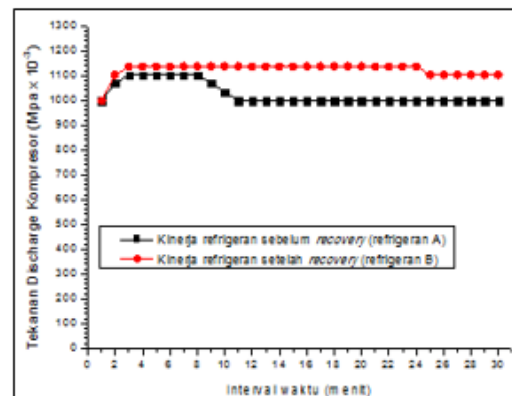


Gambar 8. Grafik daya listrik terhadap waktu

Rasio kompresi ditunjukkan oleh perbandingan antara tekanan tinggi (*discharge compressor*) mesin pendingin dengan tekanan rendah (*suction compressor*) mesin pendingin. Tema ini cukup banyak dibahas karena pentingnya parameter tekanan kompresor (10,11). Untuk itu penyelidikan performa refrigerator dengan melihat tekan *suction* kompresor perlu dilakukan. Pada gambar 9 disajikan grafik tekanan *suction* kompresor terhadap waktu. Grafik 9 menginformasikan bahwa tekanan *suction* kompresor cenderung menurun sampai stabil pada tekanan $135,93 \times 10^{-3}$ Mpa. Fluktuasi perubahan tekanan berkisar dari $135,93 \times 10^{-3}$ Mpa sampai $204,93 \times 10^{-3}$ Mpa, baik saat refrigerator beroperasi menggunakan refrigeran A maupun saat refrigerator beroperasi menggunakan refrigeran B. Walaupun terdapat kenaikan dan penurunan saat beroperasi sejak menit ke-1 sampai menit ke-30, tetapi secara umum perbedaan kenaikan dan penurunannya sangat kecil. Sehingga performa refrigerator cukup stabil menggunakan refrigeran A dan refrigeran B.



Gambar 9. Grafik tekanan *suction* kompresor terhadap waktu.



Gambar 10. Grafik tekanan *discharge* kompresor terhadap waktu.

Informasi di atas menunjukkan bahwa, fakta jumlah massa refrigeran yang dapat di *recovery* MRV sangat bertolak belakang dengan fakta yang disajikan pada gambar 7 sampai dengan gambar 10, grafik perbandingan performa refrigerator saat beroperasi menggunakan refrigeran A dan refrigeran B. Idealnya performa refrigerator akan baik apabila jumlah massa refrigeran yang diisi pada refrigerator sesuai dengan jumlah massa refrigeran yang dibutuhkan oleh refrigerator. Refrigerator tidak mungkin memiliki performa baik, apabila massa refrigeran hanya 55% dari jumlah seharusnya. Hanya saja performa refrigerator yang konsisten tetap bagus saat beroperasi menggunakan refrigeran A atau refrigeran B, mengindikasikan bahwa jumlah refrigeran yang ada pada refrigerator setelah *recovery-recycle* adalah 100% atau hanya sedikit di bawah 100% dari jumlah refrigeran yang dibutuhkan refrigerator untuk beroperasi. Kondisi ini dapat memberikan keyakinan bahwa keberadaan 35% refrigeran tetap aman karena tidak terbuang ke luar sistem perpipaan. Terbukti setelah proses *recovery* selesai, ada refrigeran berada dalam sistem perpipaan refrigerator dan sistem perpipaan MRV. Sehingga MRV hasil pengembangan cukup layak digunakan sebagai alat bantu praktikum pada mata kuliah yang menggunakan mesin pendingin.

5. KESIMPULAN

Pengembangan mode fungsi MRV telah berhasil dilakukan. Sebuah konstruksi baru MRV hasil pengembangan dengan dimensi luar panjang 55 Cm, lebar 49 Cm, dan tinggi 55,5 Cm telah berhasil direalisasikan. MRV hasil pengembangan dapat melakukan mode fungsi *vacuum*, *recovery-recycle*, dan *recharging* secara otomatis sesuai stelan waktunya. Selain itu performa refrigerator tetap stabil saat menggunakan refrigeran sebelum proses *recovery* atau setelah *recovery*.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat) Universitas Pendidikan Indonesia yang telah mendanai riset melalui Surat Keputusan Rektor Nomor: 392/UN40/PT.01.02/2024, pada hibah Penelitian Inovasi Tenaga Kependidikan tahun anggaran 2024.

REFERENSI

- Deng, W., Liu, S., Chen, X., Ding, L., & Jiang, Z. (2020). A work-recovery pulse tube refrigerator for natural gas liquefaction. *Cryogenics*, 111, 103170. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2020.103170>
- Iskandar, R., Listiana, R., & Saleh, A. (2024). Pengembangan perangkat IoT berbiaya rendah yang berfokus pada perlindungan dan pemantauan kompresor refrigeration. *Journal of Informatics and Electronics Engineering*, 4(1), 9–15.
- Khaliq, A., Refaey, H. A., & Alharthi, M. A. (2021). Development and analysis of a novel CSP source-driven cogeneration cycle for the production of electric power and low temperature refrigeration. *International Journal of Refrigeration*, 130, 330–346. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.05.010>
- Liu, G., Li, Q., Wu, J., Xie, R., Zou, Y., Marson, A., et al. (2022). Improving system performance of the refrigeration unit using phase change material (PCM) for transport refrigerated vehicles: An experimental investigation in South China. *Journal of Energy Storage*, 51, 104435. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104435>
- Mutaufig, Sutia, I., & Berman, E. T. (2017). Manufaktur MRV sebagai upaya untuk mereduksi penggunaan bahan habis praktikum. *Prosiding Konferensi dan Semnas UNPAD*, 1, 401–408.
- Mutaufig, Sulistyo, H., & Berman, E. T. (2018). Evaluasi reuse refrigeran hasil recovery MRV pada alat praktik mesin pendingin. Dalam *UNPAD Press* (hlm. 141–150).
- Negara, I. P. S., & Arsawan, I. M. (2018). Redesign 3R machine as a refrigerant waste treatment alternative in environmental rescue. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1).
- Setiawan, I. D., Ubaidillah, A., & Alfita, R. (2020). Perancangan dan pengembangan trainer air conditioner jenis split untuk Teknik Elektro Universitas Trunojoyo Madura. *SinarFe7*, 1–5. <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/2813490>
- Shevchenko, W., Wiweko, A., Siregar, M. S., & Pelayaran Malahayati, P. (2023). Penyebab menurunnya kinerja mesin pendingin di MV. Mutiara. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(2), 89–100. <https://jurnal.tiga-mutiara.com/index.php/jimi/index>
- Suamir, I. N., Wibolo, A., Subagia, I. W. A., Idrayana, I. P. E., & Putra, A. A. N. D. I. (2021). Sistem refrigerasi CO₂: Solusi alternatif sistem refrigerasi ramah lingkungan untuk aplikasi supermarket. *Jurnal Aplikasi Mesin dan Teknologi Hijau*, 2(2), 48–59.

Zhu, Z., Liang, K., Li, Z., Jiang, H., & Meng, Z. (2021). A numerical model of a linear compressor for household refrigerator. *Applied Thermal Engineering*, 198, 117467. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117467>