



**VARIASI *FILTER-DRIER* TERHADAP
COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP)
LEMARI PENDINGIN 172 LITER MEREK SHARP**

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Mochamad Khoirudin

NIM.5301415007

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “VARIASI *FILTER-DRIER* TERHADAP *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* (COP) LEMARI PENDINGIN 172 LITER MEREK SHARP” ini telah disetujui oleh Pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 25 September 2019

Mengetahui,

a.n Ketua Jurusan Teknik Elektro
Sekretaris Jurusan Teknik Elektro



Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Pembimbing



Drs. Said Sunardiyo, M.T.
NIP. 196505121991031003

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul “VARIASI *FILTER-DRIER* TERHADAP *COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP)* LEMARI PENDINGIN 172 LITER MEREK SHARP” ini telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 25 September 2019

Oleh

Nama : Mochamad Khoirudin

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Ketua



Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Sekretaris



Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Penguji I



Drs. Henry Ananta, M.Pd., IPM
NIP. 195907051986011002

Penguji II



Drs. Agus Murnomo, M.T.
NIP. 195506061986031002

Penguji III



Drs. Said Sunardiyo, M.T.
NIP. 196505121991031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mochamad Khoirudin
NIM : 5301415007
Tempat, Tanggal Lahir : Batang, 13 Mei 1997
Alamat : Jl. Kyai Sambong, Gang Melati RT 2/4 No. 17,
Sambong Tengah, Batang

Menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini adalah hasil jiplakan dari karya tulis orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Semarang, 15 Agustus 2019



hamad Khoirudin
NIM. 5301415007

- Barang siapa yang menghendaki kebaikan di dunia maka dengan ilmu. Barang siapa yang menghendaki kebaikan di akhirat maka dengan ilmu. Barang siapa menghendaki keduanya maka dengan ilmu (HR Bukhori dan Muslim)
- Jangan pernah melupakan sejarah, ini akan membuat dan mengubah siapa diri kita (Ir. Soekarno)
- Bergerak atau tergantikan (Mochamad Khoirudin)

PERSEMBAHAN:

Skripsi ini saya persembahkan sebagai ungkapan terima kasih kepada:

- Kedua orang tuaku Bapak Moch. Bejo dan Ibu Komariyah.
- Desi Nofiyati, S.Pd.
- Almamaterku Universitas Negeri Semarang.

SARI

Mochamad Khoirudin, 2019. Variasi *Filter-Drier* Terhadap *Coefficient Of Performance* (COP) Lemari Pendingin 172 Liter Merek SHARP. Skripsi. Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Drs. Said Sunardiyo, M.T.

Proses perbaikan terhadap lemari pendingin harus mengganti *filter-drier* baru. Pengaruh hasil variasi *filter-drier* terhadap nilai COP diteliti pada penelitian ini. Jenis *filter-drier* yang digunakan pada penelitian ini yaitu filter isi dan menggunakan penelitian eksperimen. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan nilai COP paling efisien pada keadaan kabin tanpa beban terhadap variasi yang telah dilakukan. Variasi yang dilakukan adalah melakukan penambahan dan pengurangan panjang 2cm dari panjang normal 7cm pada filter isi. Penambahan dan pengurangan panjang dilakukan dengan teknik sambung *swagging*. Berdasarkan hasil penelitian, penelitian ini menghasilkan nilai COP yang paling efisien selama 100 menit pengujian adalah *filter-drier* isi dengan panjang 5cm karena mempunyai peningkatan nilai COP sebesar 10%, selisih nilai arus 0.02A, dan cepat mencapai suhu kabin di menit ke-59 serta ada 3 kali jumlah clocking thermostat tercapai

Kata kunci: *efisien, filter-drier, nilai COP, tekanan, variasi*

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Variasi *Filter-drier* Terhadap Coefficient Of Performance (COP) Lemari Pendingin 172 Liter Merek SHARP” dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segenap kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum. Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan Studi Strata Satu di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. Dekan Fakultas Teknik yang telah mengesahkan skripsi ini.
3. Dr.-Ing Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T. Ketua Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan kemudahan administrasi selama perijinan pelaksanaan penelitian.
4. Drs. Said Sunardiyo, M.T. Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran hingga selesainya skripsi ini.
5. Drs. Henry Ananta, M.Pd., IPM. selaku dosen Penguji I yang telah memberikan masukan berupa saran, perbaikan, dan tanggapan dalam penelitian ini.
6. Drs. Agus Murnomo, M.T. selaku dosen Penguji II yang telah memberikan masukan berupa saran, perbaikan, dan tanggapan dalam penelitian ini.

7. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, bimbingan, dan motivasi selama penulis menimba ilmu di Universitas Negeri Semarang.
8. Ibu Kepala SMK Negeri 3 Pekalongan telah memberikan ijin untuk melaksanakan penelitian di sekolah yang saya tuju.
9. Bapak Kepala Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara SMK Negeri 3 Pekalongan yang telah memandu selama kegiatan penelitian berlangsung.
10. Keluarga tercinta Bapak Moch. Bejo, Ibu Komariyah dan adikku Aisyiah Nur Aeni atas segala doa dan dukungan yang selalu memotivasi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro Rombel PTE 1 2015 yang telah membantu dan memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Desi Nofiyati, S.Pd. yang selalu memberikan semangat dan dukungan serta menjadi tempat bercerita baik suka maupun duka saat menyelesaikan skripsi ini.
13. Teman-teman organisasi BEM KM UNNES, Sekolah Kader Bangsa, dan Gema Teknik FT Unnes, yang telah membantu dan memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya dunia pendidikan.

Semarang, 15 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	12
1.3 Pembatasan Masalah	12
1.4 Perumusan Masalah	14
1.5 Tujuan Penelitian	14

1.6 Kegunaan Penelitian	14
1.7 Penegasan Istilah	15
BAB II LANDASAN TEORI	16
2.1 Kajian Pustaka	16
2.2 Teori Penunjang	18
2.2.1 Siklus Refrigerasi dan Pengkondisian Udara	18
2.2.1.1 Sistem Kompresi Uap	18
2.2.1.2 Siklus Refrigerasi Carnot.....	19
2.2.1.3 Siklus Kompresi Uap Ideal.....	21
2.2.1.4 Siklus Kompresi Uap Aktual.....	22
2.2.2 <i>Filter-drier</i>	23
2.2.3 Diagram Mollier (Diagram Tekanan-Entalphi).....	23
2.2.4 Coefficient Of Performance (COP)	24
2.2.5 Cara Menghitung Coefficient Of Performance (COP).....	27
2.2.5.1 Cara Manual.....	28
2.2.5.2 Menggunakan Software CoolPack	31
2.2.6 Refrigerant	34

	Halaman
2.3 Kerangka Berpikir	36
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2 Desain Penelitian	38
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	39
3.3.1 Spesifikasi Kulkas	39
3.3.2 Pekerjaan Pipa Refrigerant	42
3.3.2.1 Peralatan Pengelasan	42
3.3.2.2 Peralatan Pemotong Pipa	43
3.3.3 Tes Tekan	44
3.3.3.1 Manifold Gauge	45
3.3.3.2 Pompa Vakum	45
3.4 Parameter Penelitian	48
3.4.1 Tekanan	48
3.4.2 Suhu	48
3.4.3 Waktu	49
3.4.4 Kuat Arus.....	49

	Halaman
3.5 Teknik Pengumpulan Data	50
3.5.1 Teknik Observasi	51
3.5.2 Teknik Studi Dokumenter	52
3.5.3 Teknik Pengukuran	52
3.6 Tahap Kalibrasi Alat Ukur.....	52
3.7 Prosedur Pengambilan Data.....	53
3.7.1 Pemeriksaan Peralatan Sebelum Pengujian	54
3.7.2 Instalasi Peralatan Pengujian	54
3.7.3 Pekerjaan Variasi <i>Filter-drier</i>	55
3.7.4 Pemvakuman Instalasi	58
3.7.5 Menguji Kebocoran Instalasi	59
3.7.6 Pengisian Refrigerant.....	59
3.7.7 Pengambilan Data Pengujian	61
3.8 Teknik Analisis Data	63
3.8.1 Teknik Analisis Data Statistik Deskriptif	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Deskripsi Data	64

	Halaman
4.1.1 Data Sampel Uji Filter	66
4.2 Perhitungan Nilai COP	68
4.2.1 Menggunakan Aplikasi CoolPack	68
4.2.2 Menggunakan Cara Manual.....	69
4.3 Analisis Data.....	72
4.3.1 Analisis Hasil Nilai COP, Tekanan, dan Kuat Arus.....	72
4.3.2 Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Refrigerant Evaporating Terhadap Waktu	75
4.3.3 Analisis Tercapainya Mati Kompresor (Thermostat Tercapai) Terhadap Waktu Pengujian	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	83

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Kerangka pH Diagram R-22	2
Gambar 1.2 Tekanan, Suhu, dan Entalphi pada pH Diagram	3
Gambar 1.3 Proses Refrigerasi pada pH Diagram	4
Gambar 1.4 <i>Filter-drier</i>	9
Gambar 2.1 Sistem Kompresi Uap.....	18
Gambar 2.2 Siklus Mesin Carnot.....	19
Gambar 2.3 Diagram Suhu-Entropi Siklus Refrigerasi Carnot.....	20
Gambar 2.4 Diagram Tekanan-Entalphi Siklus Kompresi Uap.....	21
Gambar 2.5 Perbandingan Antara Diagram Siklus Kompresi Uap Ideal dengan Aktual	22
Gambar 2.6 Keterangan Diagram Mollier (Tekanan-Entalphi).....	23
Gambar 2.7 a Diagram Skematik Komponen Kulkas.....	25
Gambar 2.7 b Diagram pH Kulkas.....	25
Gambar 2.8 a Garis Pressure.....	28

Gambar 2.8 b Menggambar Garis 1-2	29
Gambar 2.8 c Menggambar Garis 3-4.....	30
Gambar 2.9 Pengaturan Pilihan Jenis Refrigerant	31
Gambar 2.10 Memulai Pengisian Data Perhitungan	32
Gambar 2.11 Isian Data Siklus Pengujian.....	32
Gambar 2.12 Garis 1-4 Perhitungan COP.....	33
Gambar 2.13 Cara Melihat Informasi Kalkulasi	33
Gambar 2.14 Informasi Detail Nilai Kalkulasi	34
Gambar 3.1 Desain Penelitian.....	38
Gambar 3.2 Hasil Variasi <i>Filter-drier</i>	39
Gambar 3.3 Skema Instalasi Peralatan Pengujian.....	40
Gambar 3.4 Kelistrikan Kulkas.....	41
Gambar 3.5 Peralatan Las	42
Gambar 3.6 Pemotong Pipa Refrigerant	43
Gambar 3.7 Grafik Tes Tekan.....	44
Gambar 3.8 Manifold Gauge.....	45
Gambar 3.9 Grafik Tekanan Vakum.....	46

	Halaman
Gambar 3.10 Pompa Vakum	47
Gambar 3.11 Digital Clamp Tester	49
Gambar 3.12 a Diagram Alir Penelitian.....	50
Gambar 3.12 b Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 3.13 a Diagram Alir Prosedur Pengambilan Data	53
Gambar 3.13 b Diagram Alir Prosedur Pengambilan Data.....	54
Gambar 3.14 Hasil Potong <i>Filter-drier</i>	55
Gambar 3.15 Hasil Swagging	56
Gambar 3.16 Hasil <i>Filter-drier</i> Setelah Dilakukan Variasi	56
Gambar 3.17 Hasil Pengelasan Pada Sistem Kulkas	57
Gambar 3.18 Refrigerant Slider	62
Gambar 4.1 Diagram Mollier R-134a yang digunakan untuk Perhitungan COP	69
Gambar 4.2 Tercapainya Waktu Thermostat	76

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Nilai Ozon Depletion Potential (ODP) Refrigerant	7
Tabel 1.2 Katalog Produk <i>Filter-drier</i> hvacpartners.com.....	10
Tabel 3.1 Rincian Pelaksanaan Penelitian	37
Tabel 3.2 Instrumen Pengisian Pengujian.....	63
Tabel 4.1 Data Sampel Uji Filter Isi dengan Panjang Normal 7cm.....	66
Tabel 4.2 Data Sampel Uji Filter Isi dengan Panjang 5 cm.....	66
Tabel 4.3 Data Sampel Uji Filter Isi dengan Panjang 9 cm.....	67
Tabel 4.4 Hasil Nilai COP Menggunakan Aplikasi CoolPack	68
Tabel 4.5 Hasil Sampel Pengujian Suction dan Discharge	70
Tabel 4.6 Hasil Nilai H1, H2, dan H4 Filter Isi	70
Tabel 4.7 Hasil Nilai Efek Refrigerasi dan Kerja Kompresor Filter Isi	71
Tabel 4.8 Hasil Nilai COP Menggunakan Cara Manual.....	71
Tabel 4.9 Hasil Nilai COP, Tekanan, dan Kuat Arus	72
Tabel 4.10 Perubahan Temperatur Refrigerant Evaporating Terhadap Waktu Uji	75

BAB I

PENDAHULUAN

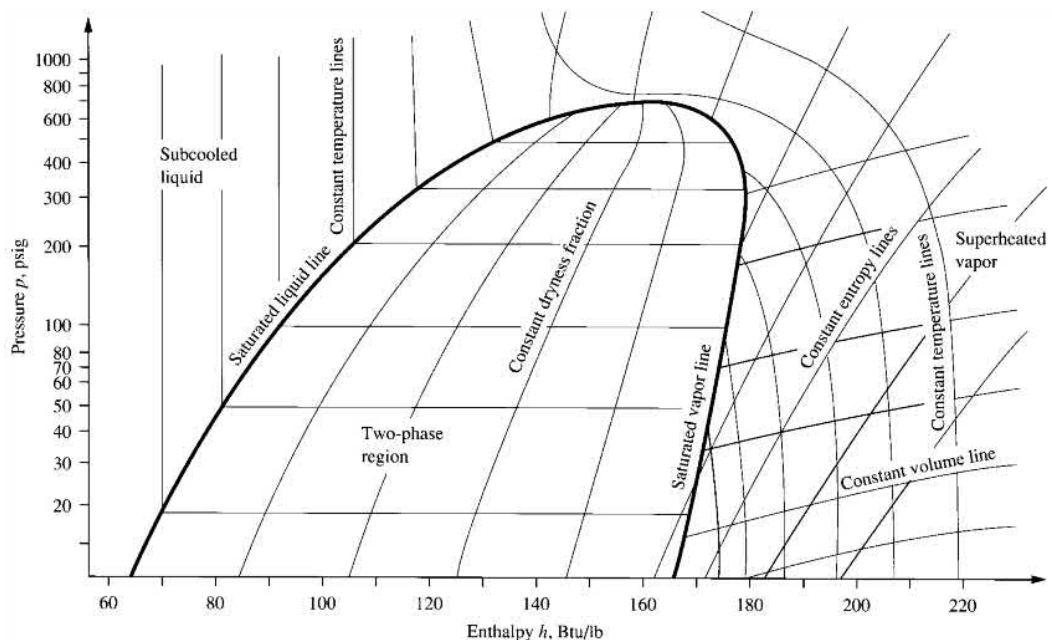
1.1 Latar Belakang Masalah

Lemari pendingin atau kulkas merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas tanpa menghilangkan energi melalui suatu fluida zat pendingin yang disebut *refrigerant*. Kulkas pada umumnya terdiri dari bagian *freezer* dan bagian kabin. Bagian *freezer* digunakan untuk mengawetkan atau membuat es sedangkan bagian kabin berguna untuk penyejuk bahan makanan, namun ruang lingkup terbatas hanya untuk keperluan rumah tangga (Daryanto, 2007:148).

Agar performa mesin refrigerasi untuk memindahkan panas tetap maksimal, tentu dibutuhkan *refrigerant* yang tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Disamping itu zat pendingin tersebut mempunyai karakteristik unik yaitu memiliki titik didih rendah, panas laten tinggi, tekanan yang stabil, mudah mengembun pada suhu ruang, mudah bercampur dengan oli pelumas, serta memiliki nilai *ozone depletion potential* (ODP) sama dengan nol (Wang, 2000:9.7).

Sistem refrigerasi merupakan siklus tertutup karena mengalir didalam suatu pemipaan, sehingga dapat bersirkulasi secara konstan dan seimbang (Sapto & Hasan, 2008:118). Prinsip kerja kulkas sama halnya dengan prinsip kerja sistem refrigerasi pada umumnya. Perbedaan didalam aplikasi penggunaan sistem refrigerasi terletak pada komponen yang menyusun atas kebutuhan sistem pendinginan tertentu (ASHRAE, 2014:33.19).

Bagian kulkas terdiri atas beberapa komponen utama diantaranya (1) kompresor, (2) kondensor, (3) *filter-drier*, (4) pipa kapiler, (5) katup ekspansi, dan (6) evaporator. Bagian kulkas sebagai komponen bantu adalah (1) thermostat, (2) bimetal, (3) *defrost timer*, (4) heater, (5) kipas, dan (6) overload. Siklus refrigerasi di representasikan menggunakan p-h diagram yaitu hubungan antara *absolute pressure* dengan *specific enthalpy* pada gambar dibawah ini.

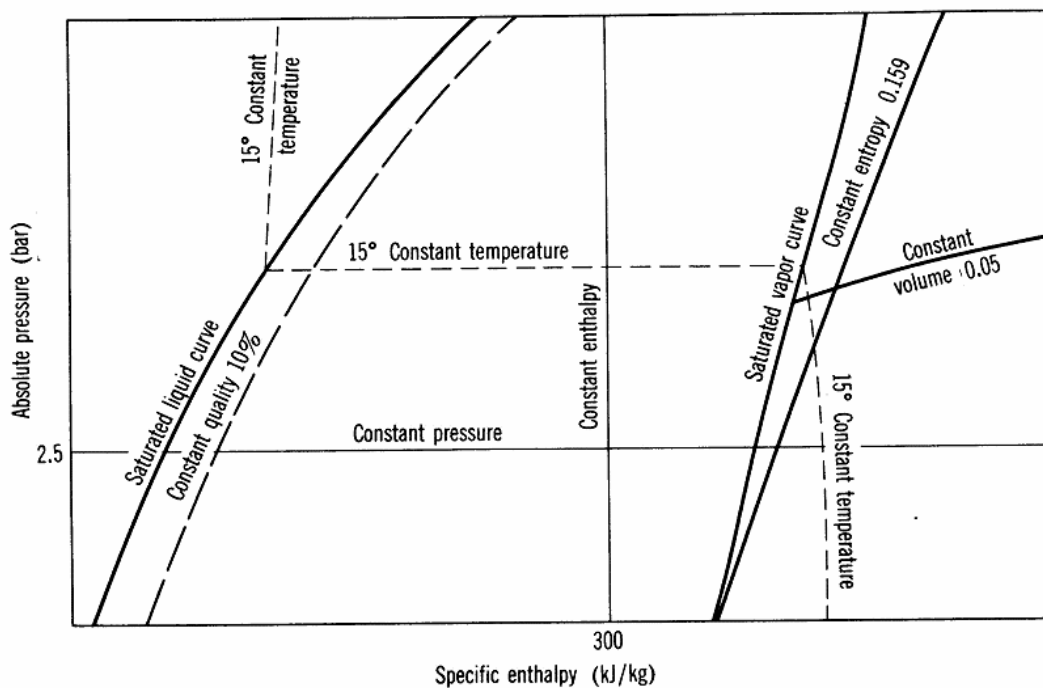


Gambar 1.1 Kerangka p-h Diagram R-22

sumber: (Wang, 2000:9.18)

Gambar 1.1 adalah kerangka p-h diagram R-22 / HCFC-22. Hubungan antara *pressure* dan *enthalpy* dinyatakan dalam skala logaritmik ordinat. Garis *saturated liquid line* (garis cair jenuh) memisahkan cairan *subcooled liquid* dari daerah dua fasa dimana *refrigerant* uap dan liquid yang berdampingan. *Saturated vapor line* (garis uap jenuh) memisahkan daerah dua fase dari *superheated vapor*.

Pemetaan daerah tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan fasa *refrigerant*. Perubahan fasa mempengaruhi perubahan tekanan dan temperatur pada siklus *refrigerant*. *Refrigerant* mengalami perubahan dari cair ke gas, dan berlangsung secara progresif dari arah kiri ke kanan hingga kembali lagi ke cair. Gambar 1.2 dibawah ini menjelaskan bagaimana nilai konstan temperatur dan nilai konstan tekanan pada pH diagram.



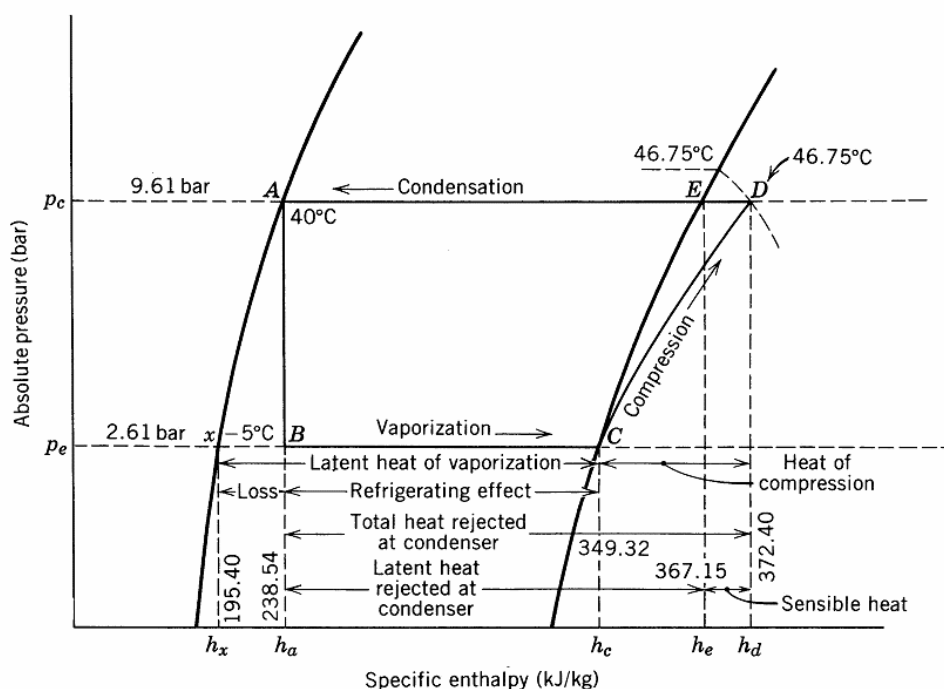
Gambar 1.2 Tekanan, Suhu, dan Entalpi pada pH Diagram

sumber: (Sapto & Hasan, 2008:128)

Berdasarkan gambar 1.2 terlihat garis *constant quality* didekat garis saturasi cair. Garis ini menunjukkan perbandingan jumlah *refrigerant* cair dan gas. Tertera 10% itu artinya kualitas campuran *refrigerant* cair dan gas adalah 10% yang berarti 10% masa *refrigerant* berupa gas dan 90% masa *refrigerant* berupa cairan atau liquid.

Garis horizontal *constant pressure* dan *constant temperature* merupakan garis konstan yang nilainya sama, begitu pula garis entalpi secara vertikal. Garis *constant temperature* pada daerah *subcooled* dinyatakan dengan garis vertikal memotong garis *saturated liquid* dan parallel dengan garis *constant enthalpy*.

Perubahan fasa *refrigerant* pada bagian tengah berlangsung pada suhu dan tekanan konstan sehingga garis *constant temperature* paralel dengan garis *constant pressure*. Pada garis *saturated vapor*, garis *constant temperature* berbelok arah lagi dan pada daerah *superheated region*, kurva garis *constant temperature* menurun curam ke bagian dasar *chart*. Bagian daerah *superheated* ada garis *constant entropy* yang diagonal hampir tegak lurus dengan garis *constant volume* berbentuk garis lengkung ke atas melalui garis *saturated vapor* (Sapto & Hasan, 2008:129).



Gambar 1.3 Proses Refrigerasi pada p-h Diagram

sumber: (Sapto & Hasan, 2008:130)

Arah aliran *refrigerant* dari titik A ke titik B *refrigerant* tidak mengalami perubahan fasa karena pada saat tersebut *refrigerant* yang keluar dari titik A (kondensor) menuju ke katup ekspansi. Kerja ekspansi adalah menurunkan tekanan dan suhu dari 9,61 bar dengan suhu 40°C ke 2,61 bar dengan suhu -5°C tanpa merubah fase *refrigerant* pada daerah subcooled liquid. Proses pemampatan katup ekspansi disebut proses ekspansi *adiabatic*. Proses *adiabatic* merupakan sebuah proses dimana tidak adanya perubahan nilai entalpi. Namun, katup ekspansi pada kulkas terdiri dari *filter-drier* dan pipa kapiler.

Menurut (Daryanto, 2007:153) *filter-drier* atau saringan-pengering merupakan alat yang digunakan untuk menyerap dan menyaring semua kotoran yang ikut terbawa dengan *refrigerant* dari kondensor. Kotoran yang diserap ditujukan agar partisi kotoran *refrigerant* tidak menyumbat pipa kapiler. Residu tersebut dapat terserap selama bahan pendingin bersirkulasi didalam pemipaan. Adapun macam-macam residunya antara lain adalah air, uap air, asam, hasil uraian minyak pelumas, dan endapan-endapan. Pipa kapiler merupakan alat untuk proses pengkabutan *refrigerant* dengan pemampatan diameter ruang yang lebih kecil sehingga suhu dan tekanan turun tanpa merubah fasa dari *refrigerant* yang melaluinya.

Proses selanjutnya adalah proses evaporasi dari titik B ke titik C. Penguapan tersebut digunakan untuk proses perpindahan panas di bagian *freezer* dan kabin kulkas. Kondisi arah aliran titik B ke titik C disebut dengan efek refrigerasi (*refrigerating effect*) atau q_e . Berdasarkan Gambar 1.3 *refrigerant* yang mengalir

dari titik B ke titik C tidak mempunyai perubahan atas suhu dan tekanannya. Akan tetapi nilai entalpinya menjadi lebih tinggi.

Proses selanjutnya dari titik C ke titik D disebut kompresi isentropik. Proses kompresi menggunakan kompresor untuk mengubah refrigerant gas temperatur rendah ke temperatur tinggi (Althouse, Turnquist, & Bracciano, 2004:131). Proses kompresi isentropik berlangsung pada entropi konstan sehingga tidak ada perubahan entropi selama proses kompresi, maka entropi titik C sama dengan entropi titik D. Hal ini disimpulkan bahwa titik D dapat dipetakan pada *ph-chart* atau *ph Diagram* mengikuti garis *constant* entropi dari titik C ke titik D pada tekanan kondensasi. Garis DE merupakan panas sensibel yang berlangsung sebelum masuk ke proses kondensasi. Proses kondensasi merupakan proses *heat release* atau penukar panas ke udara bebas yang berlangsung di kondensor. Proses kondensasi yang ada di titik E ke titik A ini berada pada suhu tinggi (panas laten). Tekanan tinggi pada kondensor mempengaruhi kinerja mesin kompresor (Bogdanovska, Molnar, & Fedorko, 2018:17).

Coefficient of performance (COP) merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan daya kompresor. Jika mesin pendingin mempunyai nilai COP tinggi berarti mesin tersebut mempunyai kapasitas pendinginan yang besar tetapi daya yang digunakan kompresor kecil (Santosa, Nadjib, Thoharuddin, & Riza, 2017:194). Nilai COP dapat digunakan untuk menganalisis kinerja mesin pendingin sistem kompresi uap (Wang, 2000:9.21). COP yang tinggi merupakan sebuah tindakan untuk menyelamatkan bumi dari *Global Warming Potential* (*GWP*) (Baskaran & Mathews, 2012:1). Disimpulkan bahwa COP merupakan suatu

ukuran efisiensi pengoperasian sistem pendingin untuk digunakan sebagai standar energi minimum pada mesin pendingin.

Tabel 1.1 Nilai *Ozon Depletion Potential* (ODP) Refrigerant

Refrigerant	Chemical formula	ODP value
CFC-11	CCl_3F	1.0
CFC-12	CCl_2F_2	1.0
CFC-13B1	CBrF_3	10
CFC-113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	0.8
CFC-114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	1.0
CFC-115	CClF_2CF_3	0.6
CFC/HFC-500	CFC-12 (73.8%)/HFC-152a (26.2%)	0.74
CFC/HCFC-502	HCFC-22 (48.8%)/CFC-115 (51.2%)	0.33
HCFC-22	CHClF_2	0.05
HCFC-123	CHCl_2CF_3	0.02
HCFC-124	CHClFCF_3	0.02
HCFC-142b	CH_3CClF_2	0.06
HFC-125	CHF_2CF_3	0
HFC-134a	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	0
HFC-152a	CH_3CHF_2	0

Sumber: (Wang, 2000:9.7)

Perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan daya yang dikonsumsi oleh peralatan tersebut sangat dibutuhkan pada kehidupan sehari-hari. Konsumsi daya yang kecil akan menghemat biaya yang dikeluarkan untuk listrik. Apabila daya listrik besar dengan penggunaan sistem pendingin domestik itu tinggi, maka *cost* yang dikeluarkan oleh pengguna akan semakin membludak. Pentingnya nilai efisiensi agar menghemat energi yang dikeluarkan. Menurut (ASHRAE, 2014:43.6), COP dapat ditingkatkan dengan banyak variasi, kombinasi, dan adaptasi yang memungkinkan untuk dikembangkan dari sistem dasar agar lebih hemat energi. Semakin tinggi nilai COP maka semakin efisien sebuah mesin pendingin (Candela & W, 2014:163).

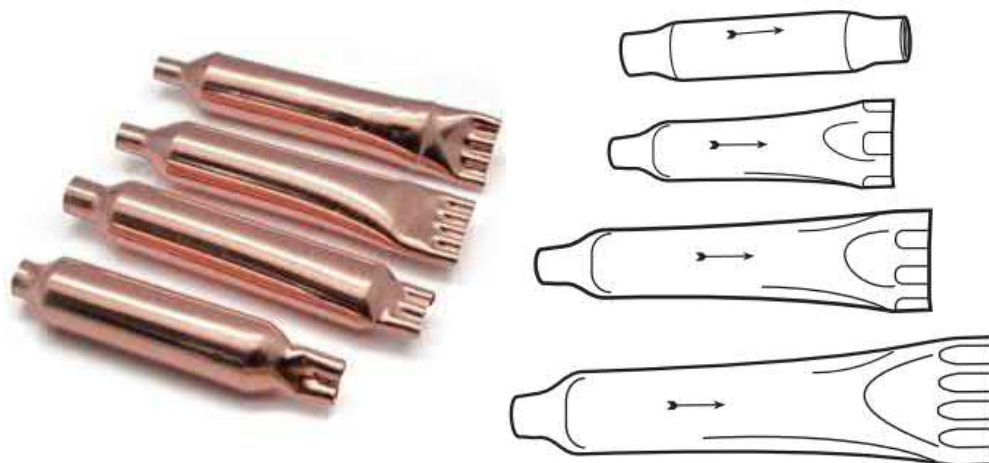
Ada beberapa kondisi yang menyebabkan nilai COP menjadi turun. Salah satunya adalah ketidakseimbangan sistem. Hal ini terjadi karena umur komponen yang sudah tua atau sudah dalam masa pergantian komponen baru dan atau kegagalan fungsi komponen. Jika hal tersebut terjadi maka nilai COP yang sebelumnya tinggi akan menjadi rendah. Nilai COP meningkat ketika ada peningkatan *subcooling* akan tetapi menurun karena panjang tabung pipa kapiler, rasio tekanan, dan peningkatan *superheat* (Fatouh & Abou-Ziyan, 2018:23). Nilai COP yang mempunyai beban cenderung lebih tinggi daripada tanpa beban dengan menambahkan komponen *filter-drier*, alat pengukur suhu, dan tekanan (Kusbandono & Purwadi, 2015:79).

Filter-drier difungsikan untuk menghilangkan kontaminan berbahaya di dalam pemipaan. Kelembaban dan zat asing adalah kontaminan paling umum yang ada pada sistem pendingin. *Filter-drier* yang tidak dapat menyaring dengan semestinya dapat menyebabkan reaksi antara pelumas dan zat pendingin. Hal ini akan membentuk suatu zat asam yang mengakibatkan tekanan yang lebih dan korosi pada lapisan dalam tembaga (Baldos, 2014:22). Menurut (ASHRAE, 2014:1.32), *filter-drier* harus berukuran cukup untuk memastikan penyaringan bahan asing tanpa penurunan tekanan yang berlebihan.

Jika aliran dari kondensor yang masuk ke evaporator kotor maka akan menyebabkan *superheat* lebih tinggi dan kegagalan kipas kondensor sehingga kerja kompresor lebih berat (Zalsman, 2010). Menurutnya *filter-drier* dapat menentukan sejumlah aliran tertentu setelah titik kesetimbangan pengeringan atau *equilibrium point dryness* tercapai antara liquid dalam *refrigerant* yang masuk dan keluar

melewati filter tersebut. Tingkat adsorpsi yang menggunakan mesh 3R pada flocculent HA dapat mencapai kesetimbangan dengan cepat (Xu, Gu, & Chen, 2013:133).

Penelitian tentang *filter-drier* yang dilakukan oleh (Sahni, Hallisey, Morgan, Strong, & Chaudhuri, 2012:239) pengeringan dengan sistem khas manik-manik kaca secara numerik disimulasikan menggunakan sifat material yang sesuai berpengaruh pada suhu dinding, level pengisi, dan kecepatan impeller didalam *filter-drier*. Suhu dinding yang tinggi menunjukkan peningkatan laju pengeringan dan kenaikan dalam suhu rata-rata, sehingga total waktu pengeringan menjadi turun. Peningkatan volume pengisi *filter-drier* pada suhu dan kecepatan dinding konstan menghasilkan penurunan laju pengeringan. Pengembangan penelitian tersebut dengan model yang berbeda didapatkan kondisi pengeringan yang optimal bergantung pada parameter operasi dan sifat materialnya (Sahni & Chaudhuri, 2013:47). Berikut adalah gambar bentuk *filter-drier* yang dijual di pasaran.



Gambar 1.4 *Filter-drier*

sumber: (<https://www.hvacpartners.com>)

Filter-drier pada kulkas memiliki beberapa macam bentuk dan isian didalamnya serta memiliki berbagai macam ukuran panjang ataupun keluaran (*outlet*). Hal ini digunakan sebagai pilihan atas efisiensi peralatan ekspansi. *Filter-drier* mempunyai jenis isian *mesh* ataupun tidak berisi *mesh* (isi kosong). *Filter-drier* dapat mudah ditemukan dalam *marketplace* dengan harga terjangkau tidak sampai ratusan ribu harga satu buahnya.

Tabel 1.2 Katalog Produk *Filter-drier* hvacpartners.com

PRODUCT NO.	INLET (in.)	OUTLET (in.)	NO. OF OUTLETS	LENGTH (in.)	ORDER NO.
S-4	1/4	.093	1	2-1/8	6537
S-6	1/4	1/4	1	2-1/8	6538
S-8	1/4	.093	1	3	6540
S-84	1/4	1/4	1	3	6541
S-842	1/4	1/8	1	3	6542
S-86	3/8	3/8	1	3	6504
S-862	3/8	1/8	1	3	6506
S-132	3/8	1/8	1	4	6521
S-134	3/8	1/4	1	4	6522
S-136	3/8	3/8	1	4	6523
S-152	1/4	1/8	1	4	6526
S-154	1/4	1/4	1	4	6527
S-842D	1/4	.146	2	3	6507
S-862D	3/8	.146	2	3	6508
S-942D	1/4	.146	2	4	6509
S-962D	3/8	.146	2	4	6510
S-942T	1/4	.146	3	4	6511
S-962T	3/8	.146	3	4	6512
S-861Q	3/8	.112	4	5	6590
S-942Q	1/4	.146	4	5	6513
S-962Q	3/8	.146	4	5	6514

Sumber: (https://dms.hvacpartners.com/docs/1006/Public/OE/STRNRS-VIB_ABSRB-PRSS_CNTR_REG.pdf)

Varian *filter-drier* yang dirancang untuk menjebak partikulat dalam pendingin sangat beragam dari dimensi *inlet* 1/4” hingga 3/8” serta tersedia dengan pilihan 1 atau 2 atau 3 dan atau 4 *outlet* dengan dimensi *outlet* 0,093 hingga 3/8”. Ditambah isian yang berisi *mesh* S.S ataupun yang tidak berisi *mesh* (isi kosong).

Berdasarkan uraian singkat latar belakang sebelumnya tertera jelas bahwa *coefficient of performance* (COP) dapat dipengaruhi oleh berbagai aspek. Salah satunya penggunaan *filter-drier* pada sistem kulkas. Berbagai macam dimensi *outlet* dan panjang *filter-drier* memungkinkan untuk berpengaruh terhadap aliran keluaran yang menuju ke pipa kapiler. Jika COP tinggi maka efektifitas kerja mesin juga tinggi. Variasi yang dilakukan yaitu pengurangan panjang 2cm dan penambahan panjang 2cm dari *filter-drier* asli bawaan pabrikan 7cm, sehingga panjang *filter-drier* yang digunakan pada penelitian adalah 5cm, 7cm, dan 9cm. Perubahan tersebut didasari perbandingan dari (Homzah, Hendradinata, & Akui, 2017) yang juga meneliti tentang alat ekspansi yaitu pipa kapiler. *Filter-drier* merupakan salah satu bagian dari alat ekspansi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan. Variasi yang hanya pengurangan dan penambahan panjang masing-masing 2cm dari *filter-drier* pabrikan diambil dari perbandingan variasi panjang pipa kapiler oleh Homzah, 2017. *Filter-drier* bawaan hanya mempunyai panjang sekitar ± 7 cm dan pipa kapiler bawaan dari 200 – 300 cm. Variabel variasi *filter-drier* yang digunakan pada penelitian ini adalah filter isi dengan masing-masing panjang 5cm, 7cm, dan 9cm sehingga ada 3 buah variabel yang digunakan untuk pengambilan data. Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti tertarik untuk meneliti hasil nilai COP, tekanan, temperatur evaporasi, dan kuat arus *running* setelah penggantian filter isi panjang 5cm dan 9cm.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat ditentukan identifikasi permasalahan yang relevan dalam penelitian ini yaitu:

1. Adanya pengaruh *filter-drier* terhadap nilai COP sebuah lemari pendingin.
2. Jika dilakukan servis terhadap lemari pendingin maka otomatis mengganti *filter-drier* baru. Dikarenakan jenis panjang *filter-drier* di pasaran sangat beragam, teknisi hanya asal mengganti tanpa mengetahui seberapa panjang *filter-drier* yang dibutuhkan di lemari pendingin tersebut.
3. Jika *filter-drier* pada kulkas terdapat masalah karena adanya penyumbatan, maka keseimbangan sistem dapat berubah dan tingkat efisiensi menurun sebab penyumbatan *filter-drier* menimbulkan tekanan yang abnormal.

1.3 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyelesaian identitas masalah diatas untuk menghindari penyimpangan pada penyampaian dari tema pokok yaitu variasi *filter-drier* adalah:

1. Lemari pendingin yang digunakan adalah merek SHARP 172 L model SJ-195MD, 2 pintu *no frost*, dan menggunakan refrigerant R-134a.
2. Nilai data diteliti pada saat awal dijalankan hingga 100 menit pengujian.
3. Nilai data diambil setelah menit ke-1 pada saat dilakukan pengujian.

4. Nilai data menit 1 – 10 dilakukan proses video, menit ke 11 – 100 dilakukan secara manual.
5. Pengambilan data dilakukan pada saat keadaan tanpa beban aktual di dalam kabin kulkas.
6. Pengambilan data diambil setelah melakukan validasi pengisian *refrigerant*.
7. Bagian yang diperpanjang dan diperpendek ada pada bagian tengah dengan dipotong serta sambung menggunakan teknik *swagging*.
8. Kompresor yang digunakan adalah standar bawaan pabrik.
9. Semua *filter-drier* yang digunakan untuk pengujian adalah filter isi dengan diameter $\frac{3}{4}$ cm dan keadaan normal ditentukan *filter-drier* dengan panjang 7cm.
10. Hasil pengambilan data berupa nilai kuat arus saat *running*, tekanan (*psig*) *suction* dan *discharge*, temperatur *refrigerant*, temperatur saat evaporasi, kabin atas bawah, dan temperatur pipa luar *suction discharge*.
11. Nilai COP diambil dari sampel menggunakan teknik *random sampling* pada menit-menit yang terpilih sebanyak 5 sampel per variabel yaitu 2 saat menit awal, 1 tengah, dan 2 akhir.
12. Jika saat keadaan *defrost* menyala ditengah-tengah pengujian, maka *defrost* akan di matikan secara manual dan diambil menit lanjutan setelah temperatur kabin sudah sama seperti sebelum *defrost*.
13. Pengisian tidak dilakukan dengan alat timbang *refrigerant* digital, akan tetapi berdasarkan tekanan manifold (*psig*) sebesar 5-10 psi.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat ditentukan rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa nilai COP, tekanan, temperatur evaporasi, dan kuat arus *running* setelah penggantian *filter-drier* isi panjang 5cm dan 9cm?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah diatas yaitu:

1. Mengetahui nilai COP, tekanan, temperatur evaporasi, dan kuat arus *running* setelah penggantian *filter-drier* isi panjang 5cm dan 9cm.

1.6 Kegunaan Penelitian

Diharapkan setelah selesainya penelitian ini bisa bermanfaat bagi:

- a. Bagi Mahasiswa

Dapat memahami langkah-langkah dalam menghitung nilai COP dengan benar

- b. Bagi Peneliti

Dapat mengetahui perbedaan penggunaan variasi *filter-drier* panjang 5cm dan 9cm dengan panjang normal 7cm.

- c. Bagi Teknisi

Dapat menjadi pertimbangan ketika pelayanan kepada *customer* tentang pentingnya memilih peralatan yang sesuai sehingga tingkat efisiensi menjadi lebih tinggi

1.7 Penegasan Istilah

“Variasi *Filter-drier* Terhadap *Coefficient Of Performance* (COP) Lemari Pendingin 172 Liter Merek SHARP” memiliki definisi sebagai berikut:

1. Variasi adalah tindakan atau hasil perubahan dari keadaan semula namun mempunyai perbedaan bentuk atau rupa (dalam KBBI daring).
2. *Filter-drier* adalah bagian dari alat ekspansi yang berada diantara kondensor dan pipa kapiler. Alat ekspansi kulkas ada dua yaitu *filter-drier* dan pipa kapiler. Alat ekspansi terletak diantara kondensor dan evaporator. Fungsi dari alat ekspansi adalah menurunkan tekanan tanpa merubah nilai entropi.
3. *Coefficient of performance* (COP) adalah istilah yang digunakan dalam perbandingan untuk mengetahui tingkat efektifitas kerja mesin pendingin.
4. R-134a adalah salah satu jenis refrigerant dengan keluarga *hydrochloroflourocarbon* (HCFC) yang lebih ramah lingkungan dengan nilai *ozon depleting potential* (ODP) sama dengan nol.
5. Diagram Entalphi mempunyai nama lain Diagram Mollier, pH Diagram, Diagram pH, ph-chart, dan Diagram Tekanan-Entalphi. Diagram ini menunjukkan karakteristik dari *refrigerant*, sehingga dapat menyatakan hubungan antara tekanan (P) dengan entalphi (i) atau (h). Entalphi dinyatakan sebagai absisa dengan satuan i atau h atau kJ/kg, sedangkan tekanan (P) dinyatakan dengan satuan *psi* atau *bar*.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

(Fatouh & Abou-Ziyan, 2018:23) menjelaskan bahwa nilai *coefficient of performance (COP)* meningkat ketika derajat *subcooling* yang tinggi, akan tetapi mengalami penurunan dikarenakan panjang tabung pipa kapiler, rasio tekanan kerja, dan peningkatan derajat *superheat*. Peralatan ekspansi kulkas rumah tangga merupakan sumber 88% dari total kehilangan eksergi.

(Santosa et al., 2017:202) mengatakan nilai COP yang tinggi dapat dicapai dengan kerja kompresor minimum namun memiliki kapasitas pendinginan yang maksimum. Penelitiannya mengkondisikan variasi massa aliran air yang dialirkan ke evaporator dengan alat *rotameter air*. Perangkat dari eksperimen tersebut ditambahkan *orifice*, bagian uji, pemanas listrik, termokopel, dan beberapa pengukur tekanan untuk mengumpulkan data ukur. Berdasarkan data ukur tersebut digunakan untuk menghitung daya kompresor dan kapasitas pendinginan.

(Kusbandono & Purwadi, 2015:85) mendefinisikan bahwa nilai COP yang memiliki muatan cenderung lebih tinggi daripada keadaan tanpa beban dengan menambahkan komponen *filter-drier*, pengukur suhu, dan tekanan.

(Baldos, 2014:22) mengatakan bahwa *filter-drier* yang tidak dapat menyaring dengan semestinya dapat menyebabkan reaksi antara pelumas dan zat pendingin. Hal ini akan membentuk suatu zat asam yang mengakibatkan tekanan

yang lebih dan korosi pada lapisan dalam tembaga sehingga memungkinkan untuk timbul ketidakseimbangan aliran di dalamnya.

(Xu et al., 2013:133) menjelaskan bahwa *filter-drier* dapat menentukan sejumlah aliran tertentu setelah titik kesetimbangan kering tercapai antara cairan dalam zat pendingin yang masuk dan keluar dari filter. Level adsorpsi menggunakan *mesh 3R* pada *flocculent HA* dapat mencapai keseimbangan dengan cepat.

(Sahni & Chaudhuri, 2013:48) menemukan adanya perbedaan tentang variasi parameter operasi saat meningkatkan laju pengeringan pada *filter-drier* terdapat peningkatan suhu dan waktu pengeringan berkurang. Hal ini disebabkan parameter operasi dilakukan dengan sifat material yang berbeda sehingga didapatkan perbedaan hasil dari pengeringan tersebut. Karakteristik friksi atau gesekan didalam suatu filter mempengaruhi aliran dalam tersebut.

(Sahni et al., 2012:239) menerapkan penelitian pada *filter-drier* yang dikeringkan secara numerik dengan sistem manik-manik kaca yang disimulasikan. Properti material berpengaruh pada suhu dinding, level pengisi, dan kecepatan impeller di dalam *filter-drier*. Suhu dinding yang tinggi menunjukkan peningkatan laju pengeringan dan peningkatan suhu rata-rata sehingga waktu pengeringan turun.

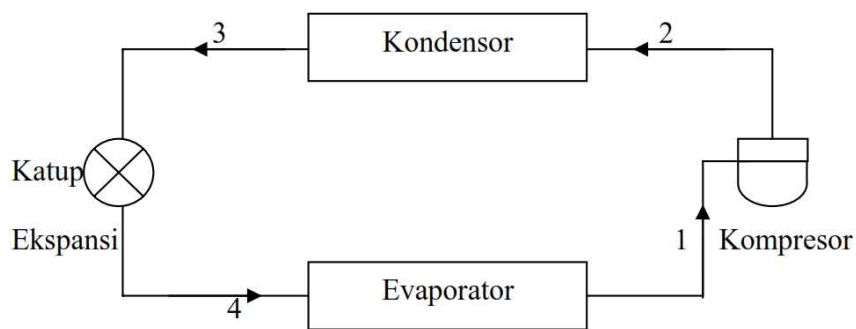
2.2 Teori Penunjang

2.2.1 Siklus Refrigerasi dan Pengkondisian Udara

Siklus refrigerasi untuk pengkondisian udara dingin adalah siklus refrigerasi kompresi uap dan siklus adsorpsi (Arismunandar & Saito, 2005:95). Pada umumnya penerapan teknik pengkondisian udara digunakan sebuah kenyamanan pengguna. Penerapan tersebut dapat dijumpai pada perhotelan, perkantoran, rumah tinggal, sekolah, rumah sakit, dan pusat perbelanjaan.

2.2.1.1 Sistem Kompresi Uap

Siklus ini merupakan siklus *looping*. Siklus kompresi uap ini melalui proses tekan kemudian diembunkan menjadi cairan kemudian, lalu melalui proses penurunan tekanan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Sistem kompresi uap sederhana digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.1 Sistem Kompresi Uap

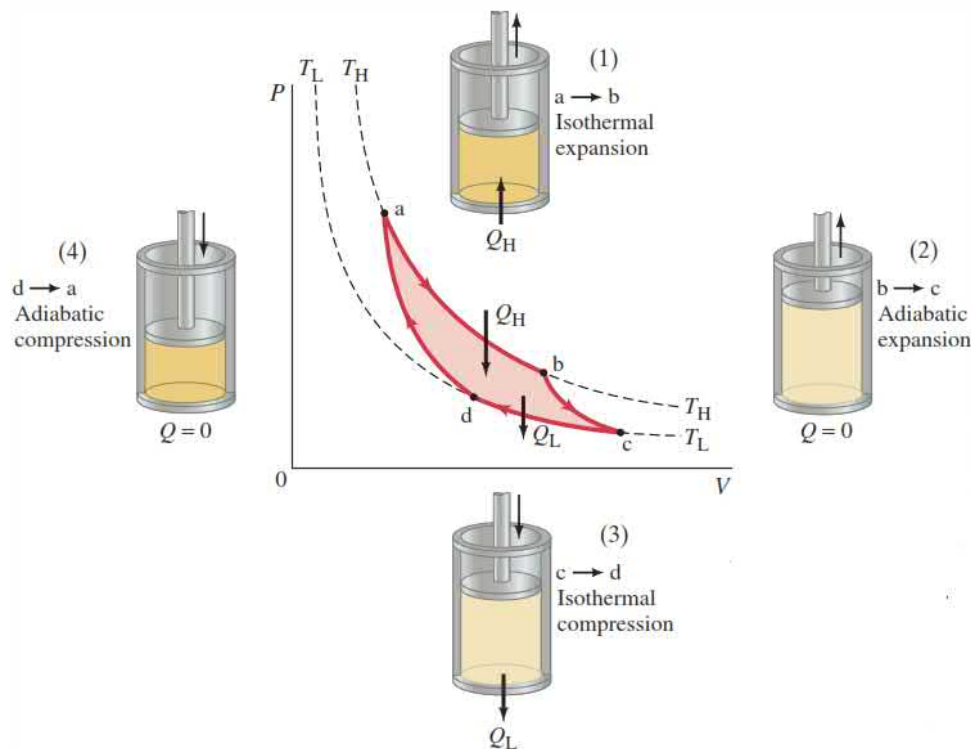
Sumber: (Stoecker & Jones, 1992:187)

Refrigerant ditekan menggunakan kompresor sehingga tekanannya menjadi tinggi berbentuk uap dan mempunyai temperatur tinggi lalu masuk ke kondensor untuk didinginkan oleh udara sehingga tekanan berbentuk cairan dan temperatur menjadi turun. Setelah melalui proses tersebut, *refrigerant* akan mengalir ke katup

ekspansi untuk menurunkan tekanan *refrigerant*. Penurunan tekanan dan temperatur rendah akhirnya berada pada evaporator untuk menyerap kalor. Hal ini disebut proses evaporasi. Siklus *refrigerant* tersebut kembali berulang.

2.2.1.2 Siklus Refrigerasi Carnot

Siklus Refrigerasi Carnot ini merupakan kebalikan dari mesin Carnot (Wang, 2000:9.19). Mesin Carnot bekerja pada temperatur tinggi. Siklus Carnot digambarkan sebagai berikut.



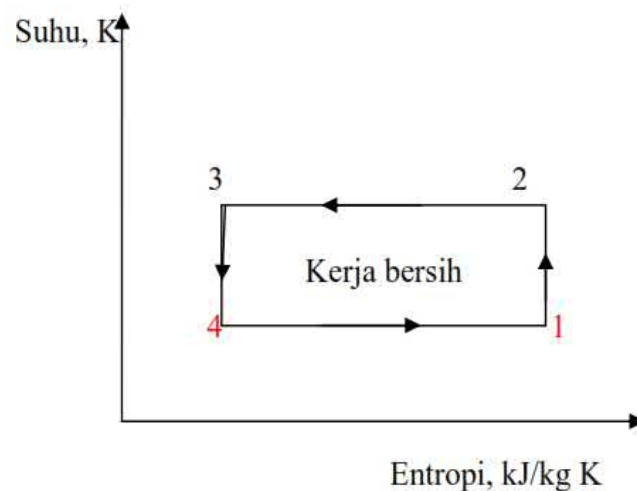
Gambar 2.2 Siklus Mesin Carnot

Sumber: (Giancoli, 2014:423)

Mesin panas bekerja dalam satu siklus, dan siklus untuk mesin Carnot teoritis dimulai pada titik “a” pada diagram PV untuk gas yang ideal. (1) Gas pertama kali diperluas secara isothermal dengan menambahkan panas Q_H , disepanjang jalur “ab” pada suhu T_H . (2) Selanjutnya gas mengembang secara

adiabatik dari “b” ke “c” tidak ada panas yang ditukar, tetapi suhunya turun menjadi T_L . (3) Gas kemudian dikompresi pada suhu konstan T_L jalur “cd”, dan panas Q_L mengalir keluar. (4) Akhirnya, gas dikompresi secara adiabatik pada jalur “da” dan kembali ke keadaan semula

Mesin Carnot menerima kalor dalam temperatur tinggi kemudian energi tersebut diubah menjadi suatu kerja dan sisa energinya dibuang ke penampang panas di temperatur rendah, sedangkan siklus refrigerasi Carnot menerima energi pada temperatur rendah dan mengeluarkan energi saat temperatur tinggi. Diagram suhu-entropi pada siklus refrigerasi Carnot disajikan sebagai berikut



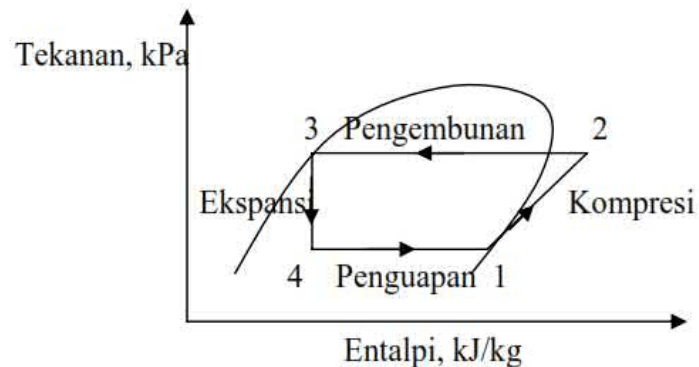
Gambar 2.3 Diagram Suhu-Entropi Siklus Refrigerasi Carnot

Sumber: (Stoecker & Jones, 1992:179)

Proses 1-2 merupakan kompresi adiabatik, lalu proses 2-3 adalah pelepasan kalor isothermal. Proses ekspansi adiabatik terjadi pada 3-4 dan proses 4-1 merupakan penguapan kalor isothermal. Seluruh proses pada siklus refrigerasi carnot secara termodinamika bersifat *reversibel* yaitu proses kompresi dan ekspansi bersifat isentropik.

2.2.1.3 Siklus Kompresi Uap Ideal

Siklus kompresi uap ideal disebut juga siklus teoritis. Diagram ini merupakan diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap. Gambar berikut dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 2.4 Diagram Tekanan-Entalpi Siklus Kompresi Uap

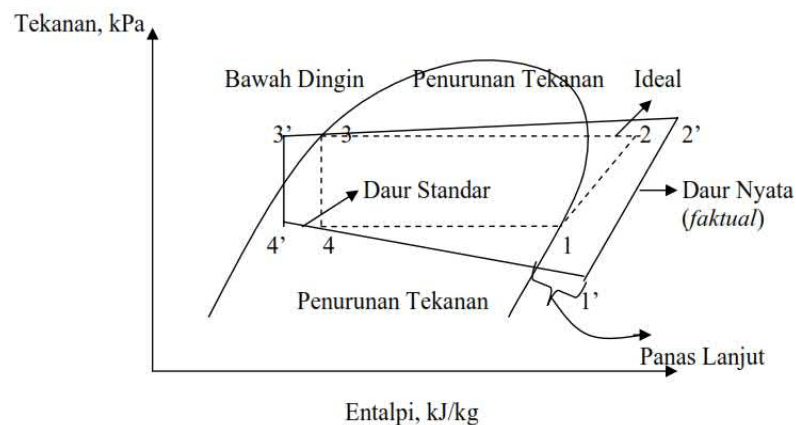
Sumber: (Stoecker & Jones, 1992:187)

Secara teoritis, proses tersebut mengasumsikan beberapa proses yaitu:

- 1-2 Proses kompresi adiabatik dan *reversibel* dari uap jenuh menuju tekanan kondensor
- 2-3 Proses pelepasan kalor *reversibel* pada tekanan konstan sehingga menyebabkan penurunan panas lanjut dan pengembunan refrigerasi.
- 3-4 Proses ekspansi *unreversibel* pada entalpi konstan dari fasa cair jenuh menuju evaporator.
- 4-1 Proses penambahan kalor *reversibel* pada tekanan konstan sehingga terjadi penguapan menuju uap jenuh.

2.2.1.4 Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap aktual atau yang sebenarnya adalah berbeda dari siklus ideal (teoritis). Pada siklus yang sebenarnya terjadi pemanasan lanjut uap *refrigerant* yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Hal ini akibat adanya alat ekspansi yang digunakan dan atau penyerapan kalor di jalur hisap kompresor. *Refrigerant* cair mengalami pendinginan lanjut atau (*subcooled*) sebelum masuk ke katup ekspansi. Alat ekspansi yang dimaksud adalah pipa kapiler dan *filter-drier* (Fatouh & Abou-Ziyan, 2018:30).



Gambar 2.5 Perbandingan Antara Diagram Siklus Kompresi Uap Ideal dengan Aktual

Sumber: (Stoecker & Jones, 1992:191)

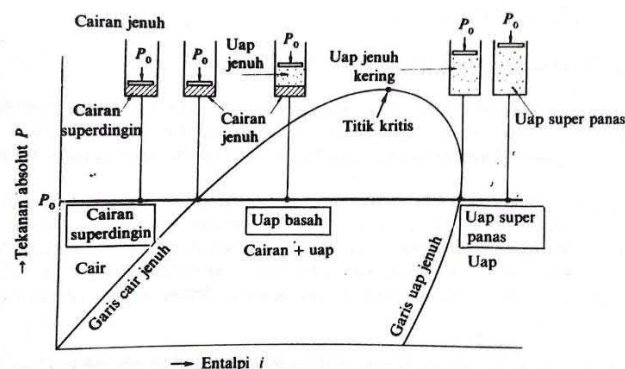
Perbedaan yang paling mencolok antara kedua siklus tersebut terletak pada penurunan tekanan didalam kondensor dan evaporator. Siklus kompresi uap ideal tidak mengalami penurunan tekanan, tetapi penurunan tekanan justru terjadi pada siklus kompresi uap aktual. Hal ini terjadi akibat gaya gesek antara *refrigerant* dengan dinding pipa.

2.2.2 Filter-drier

Filter-drier difungsikan untuk menghilangkan kontaminan berbahaya di dalam pemipaan (Daryanto, 2007:153). Kelembaban dan zat asing adalah kontaminan paling umum yang ada pada sistem pendingin. *Filter-drier* yang tidak dapat menyaring dengan semestinya dapat menyebabkan reaksi antara pelumas dan zat pendingin. Panjang *filter-drier* memungkinkan pengaruh terhadap tekanan *refrigerant*.

2.2.3 Diagram Mollier (Diagram Tekanan-Entalphi)

Menurut (Arismunandar & Saito, 2005:105), diagram Mollier adalah nama lain dari diagram entalphi. Diagram ini menunjukkan karakteristik dari *refrigerant*, sehingga dapat menyatakan hubungan antara tekanan (P) dengan entalphi (i) atau (h). Entalphi dinyatakan sebagai absisa dengan satuan i atau h atau kJ/kg . Berdasarkan pernyataan diatas, dikarenakan karakteristik setiap jenis *refrigerant* berbeda maka diagram yang harus digunakan adalah diagram yang sesuai dengan *refrigerant* yang ada pada sistem. Bentuk diagram entalphi secara umum digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.6 Keterangan Diagram Mollier (Tekanan-Entalphi)

Sumber: (Arismunandar & Saito, 2005:106)

Diagram Tekanan-Entalpi dibagi menjadi tiga bagian untuk pembeda tingkat keadaan fasa *refrigerant* superdingin (*sub-cooled*), uap basah, dan uap superpanas (*superheat vapor*).

2.2.4 Coefficient Of Performance (COP)

Menurut (Fatouh & Abou-Ziyan, 2018), analisis energi kulkas dilakukan dengan mempertimbangkan siklus pendinginan. Nilai COP dihasilkan dari perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan konsumsi daya kompresor yang didapatkan dari siklus pendinginan. Kapasitas pendinginan evaporator atau biasa disebut efek refrigerasi (q_e) dan beban panas kondensor (q_c) ditentukan dari persamaan 1 dan 2 berikut.

$$q_e = m(h_6 - h_5) \quad (1)$$

$$q_c = m(h_2 - h_3) \quad (2)$$

Laju kerja kompresor secara teoritis (W) ditentukan menggunakan persamaan 3 berikut ini.

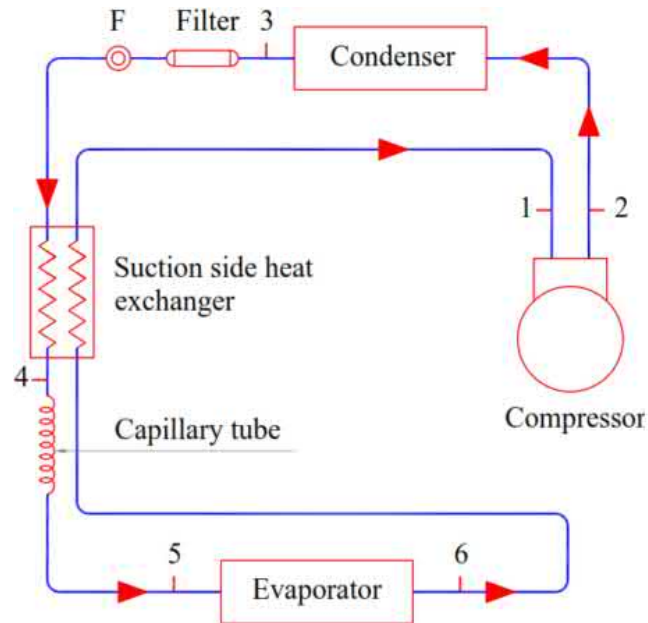
$$W = m(h_2 - h_1) \quad (3)$$

Sedangkan panas yang ditransfer dalam penukar sisi-suction (Q_{hex}) dari aliran cairan panas dari kondensor ke aliran uap dingin keluar evaporator menggunakan persamaan 4 berikut.

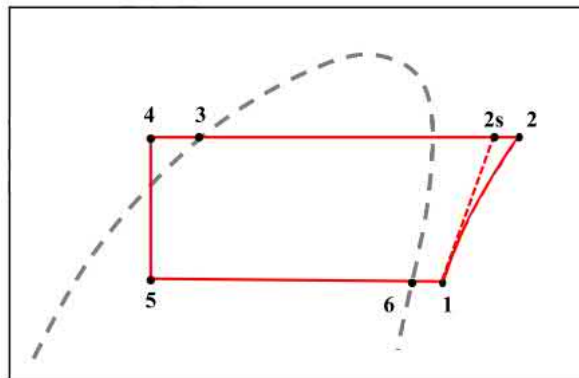
$$Q_{hex} = m_h(h_3 - h_4) = m_{co}(h_1 - h_6) \quad (4)$$

Laju aliran massa *refrigerant* aktual yang diukur disimbolkan sebagai (m)

dan (h) adalah entalphi spesifik *refrigerant* pada titik siklus yang ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut ini



Gambar 2.7 a Diagram Skematik Komponen Kulkas
sumber: (Fatouh & Abou-Ziyan, 2018:30)



Gambar 2.7 b Diagram pH Kulkas
sumber: (Fatouh & Abou-Ziyan, 2018:30)

Lemari es dalam kondisi tunak besarnya $m_h = m_{co} = m$ sehingga persamaan 4 berubah menjadi

$$Q_{hex} = m(h_3 - h_4) = m(h_1 - h_6) \quad (5)$$

Rasio tekanan (PR), efisiensi volumetrik (η_v) dan efisiensi isentropik (η_{is}) dievaluasi menggunakan persamaan 6-8 berikut

$$PR = \frac{p_c}{p_e} \quad (6)$$

$$\eta_v = \frac{m}{m_{th}} \quad (7)$$

$$\eta_{is} = \frac{w_{is}}{w} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (8)$$

Tekanan kondensor dan evaporator disimbolkan (p_c) dan (p_e). Laju aliran massa *refrigerant* disimbolkan (m_{th}) dievaluasi menggunakan persamaan 9. Kerja spesifik isentropik (w_{is}) dan kerja spesifik kompresor (w) adalah perbedaan entalpi spesifik (h) *refrigerant* yang melintasi kompresor (lihat Gambar 2.7 b). Kinerja keseluruhan lemari es dinilai oleh koefisien kinerja (COP) yang ditentukan dengan persamaan 10 berikut

$$m_{th} = \rho_1 \cdot V_{st} \cdot n \quad (9)$$

$$COP = \frac{q_e}{P} \quad (10)$$

Dimana (ρ_1) adalah densitas *refrigerant* pada *inlet* kompresor, (V_{st}) adalah volume stroke dari silinder kompresor, dan (n) adalah kecepatan kompresor (rps). Daya listrik yang ditarik oleh kompresor (P) diukur menggunakan wattmeter.

Hal ini berkaitan dengan kerja kompresor dari efisiensi mekanik kompresor (η_m) dan efisiensi elektrik (η_{el}) motor kompresor.

$$P = \frac{W}{\eta_m \cdot \eta_{el}} \quad (11)$$

Menurut (Arora, 2009:82) mendefinisikan parameter untuk menghitung efisiensi didapatkan dengan membandingkan antara prestasi kerja mesin aktual dengan prestasi kerja mesin ideal. Prestasi aktual atau COP_{aktual} adalah nilai COP yang sebenarnya didalam sistem dihitung dengan menggunakan diagram entalphi sesuai dengan jenis *refrigerant* yang digunakan pada sistem. Prestasi aktual mesin refrigerasi dapat diketahui menggunakan persamaan berikut ini:

$$COP_{aktual} = \frac{q_e}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (12)$$

Artinya (q_e) adalah efek refrigerasi (kJ/kg), dan (w) adalah kerja kompresi (kJ/kg). Menurut (Giancoli, 2014:426) prestasi kerja ideal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ideal atau biasa disebut persamaan Carnot seperti dibawah ini:

$$COP_{carnot} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (13)$$

Temperatur evaporasi (T_e) dan (T_k) temperatur kondensasi menggunakan satuan Kelvin (K). Efisiensi mesin refrigerasi dapat diperoleh dengan mengevaluasi nilai COP_{aktual} (12) dengan nilai COP_{carnot} (13).

$$\eta_R = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (14)$$

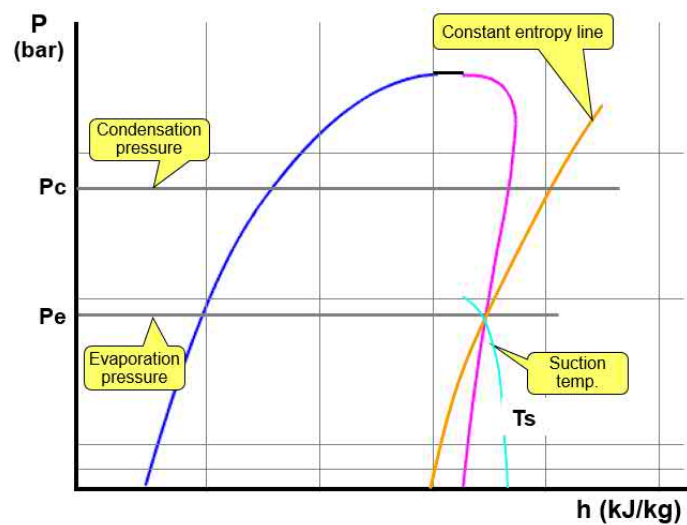
2.2.5 Cara Menghitung Coefficient Of Performance (COP)

Menghitung nilai COP merupakan pemahaman pembacaan diagram entalphi atau mollier. Perhitungan tersebut membutuhkan data tekanan hisap (*suction*) dan tekanan tekan (*discharge*) yang terukur pada alat ukur menggunakan

manifold gauge. Perhitungan COP relatif cukup mudah. Perkembangan teknologi menghasilkan perhitungan menggunakan *software CoolPack* yang dapat diunduh dan digunakan secara gratis. *CoolPack* bertujuan agar perbandingan tingkat ketelitian dan hasil perhitungan dapat divalidasi secara kongkret. Cara manual menggunakan diagram entalpi yang digambar dengan teliti. Peneliti menggunakan cara manual dan digital agar perhitungan valid.

2.2.5.1 Cara Manual

Perhitungan menggunakan manual diawali dengan mencari data hisap dan tekan pada sistem pendingin. Data hisap merupakan nilai dari garis evaporasi (*evaporation pressure*) dan data tekan merupakan nilai dari garis kondensasi (*condensation pressure*).



Gambar 2.8 a Garis *Pressure*

Setelah mengetahui kedua garis tersebut, perlu mengetahui juga bahwa P_e adalah bersifat panas laten, dan P_c adalah bersifat panas sensibel. Panas laten mempunyai temperatur konstan sedangkan panas sensibel mempunyai perubahan temperatur. Garis P_e dan P_c merupakan sebuah tekanan absolut. Tekanan absolut

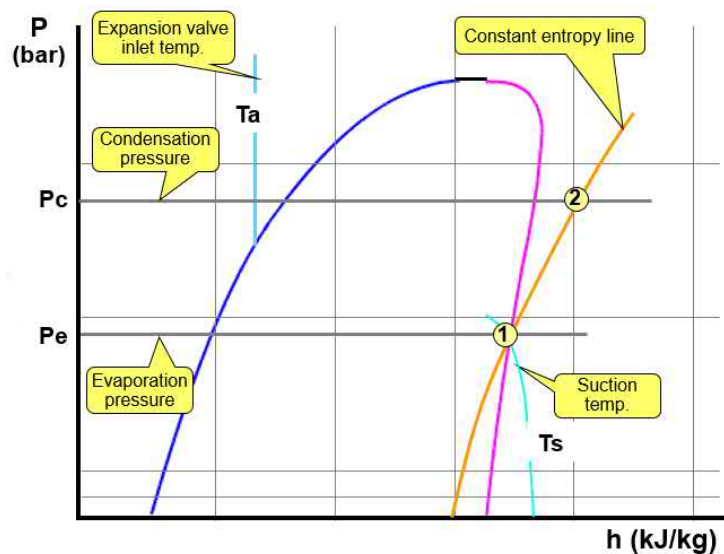
adalah tekanan yang terpengaruh oleh tekanan udara luar. Secara harfiah, tekanan absolut merupakan penjumlahan dari tekanan ukur dan tekanan atmosfer yang dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{abs} = P_{sig} + P_{atm} \quad (15)$$

Hal ini terjadi karena pengambilan nilai data dilihat dari kondisi jarum yang ada pada alat ukur *manifold gauge*. Setelah memahami hal itu, lihat satuan yang tertera pada diagram entalphi dan *manifold gauge*. Biasanya tekanan yang dihasilkan pada alat ukur adalah satuan *Psi*, dan yang dibutuhkan diagram entalphi adalah *Bar*. Hal ini membutuhkan konversi satuan dari *Psi* ke *Bar*.

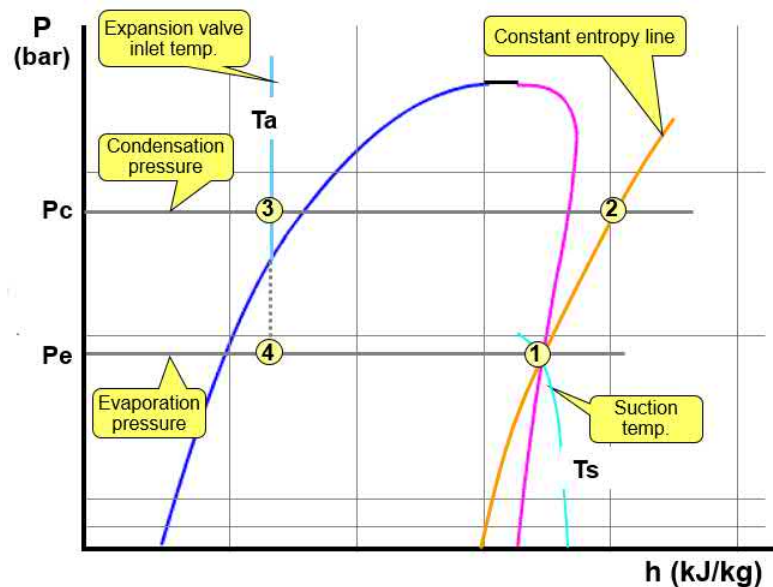
$$1 \text{ Psi} = 0,0689476 \text{ Bar} \quad (16)$$

Agar lebih memudahkan rumus untuk hasil perkiraan konversi tersebut, hasil nilai tekanan *psi* yang ada dibagi dengan 14,504. Hasil setelah pembagian tersebut telah terkonversi menjadi *Bar*. Setelah perhitungan data dan konversi sudah sesuai yang dibutuhkan, maka gambarlah garis sesuai nilai yang terhitung.



Gambar 2.8 b Menggambar Garis 1-2

Temukan titik antara garis P_e dengan garis awal uap jenuh. Pertemuan titik tersebut di tuliskan angka 1 sebagai penanda awal proses kompresi. Gambarkan secara sejajar dengan garis entropi (*constant entropy line*) terdekat dengan garis uap jenuh hingga menyentuh garis P_c . Titik ini merupakan angka 2 seperti gambar diatas. Setelah titik tersebut dilakukan, selanjutnya tarik garis sejajar mendatar kekiri pada akhir pertemuan antara garis cair jenuh dengan garis P_c dan tulis dengan angka 3. Langkah akhir gambar garis lalu tarik garis vertikal ke bawah hingga bersinggungan dengan garis P_e dan tulislah dengan angka 4. Hal ini digambarkan sebagai berikut.





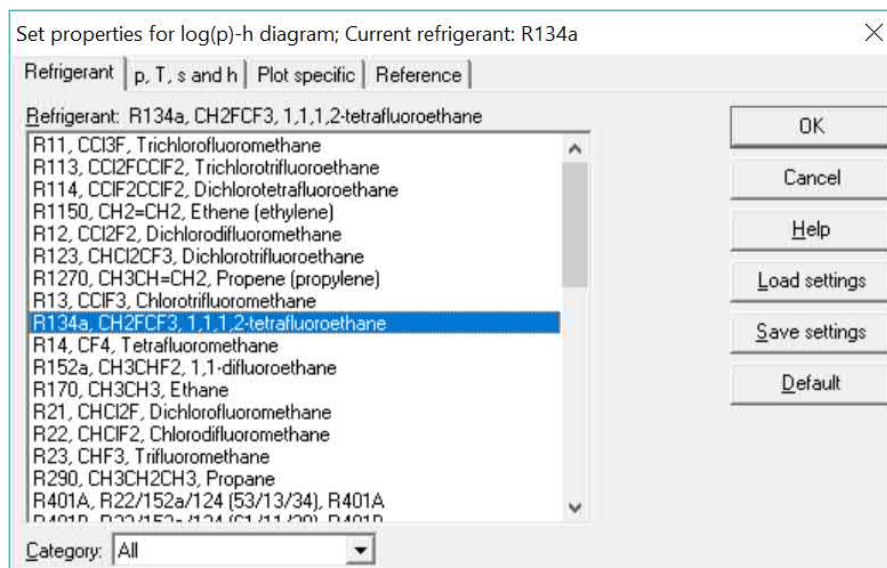
.Gambar 2.8 c Menggambar Garis 3-4

Setelah garis 1-4 telah tersedia, lalu buatlah garis vertikal kebawah diantara titik-titik tersebut hingga menemukan nilai h_4 , h_1 , dan h_2 . Hal ini digunakan untuk perhitungan rumus (12) selanjutnya setelah membaca nilai h_4 , h_1 , dan h_2 lalu kalkulasikan menjadi nilai COP. Kelemahan dari kalkulasi secara manual adalah membutuhkan ketelitian tinggi dan waktu yang relatif lama.

2.2.5.2 Menggunakan Software CoolPack

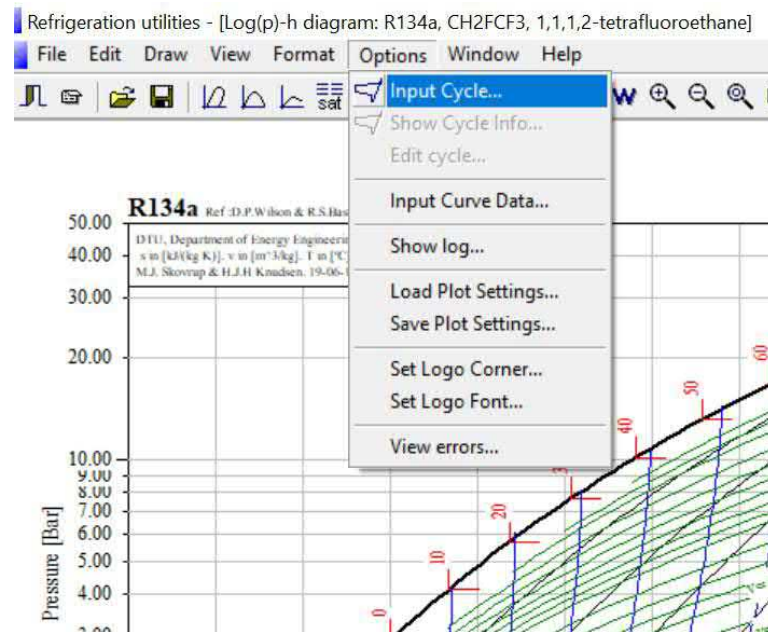
CoolPack merupakan program untuk mensimulasikan, mendesain, dan mengoptimalkan sistem yang berhubungan dengan *refrigerant*. *Software* ini merupakan *freeware* sehingga dapat digunakan oleh mahasiswa dan professional. *CoolPack* dikembangkan oleh Departement Teknik Mesin (MEK) bagian Energi Termal (TES) di Technical University of Denmark (DTU). Aplikasi ini menggunakan versi 1.33. Langkah-langkah untuk menghitung COP dari aplikasi ini adalah sebagai berikut.

- Jalankan program CoolPack dan untuk menghitung COP klik ikon 
- Untuk memilih *refrigerant* yang digunakan klik ikon 
- Pilih jenis *refrigerant* yang akan digunakan untuk menghitung COP klik OK.



Gambar 2.9 Pengaturan Pilihan Jenis Refrigerant

- Memulai pengisian data dengan cara klik *Option - Input Cycle*

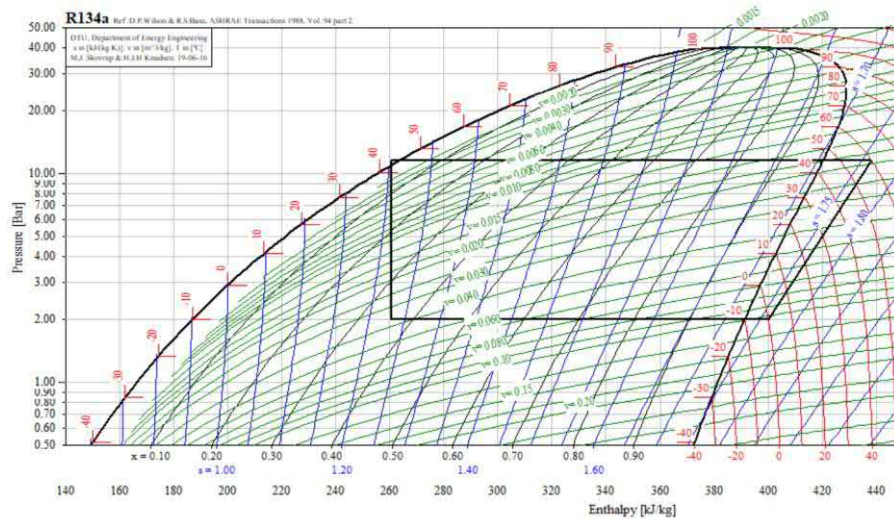


Gambar 2.10 Memulai Pengisian Data Perhitungan

- e. Pilih tipe siklus untuk *One stage* karena siklus kulkas bukan siklus bertingkat. Isikan data sesuai yang sudah diambil saat pengujian, lalu klik *update* dan klik *draw cycle*

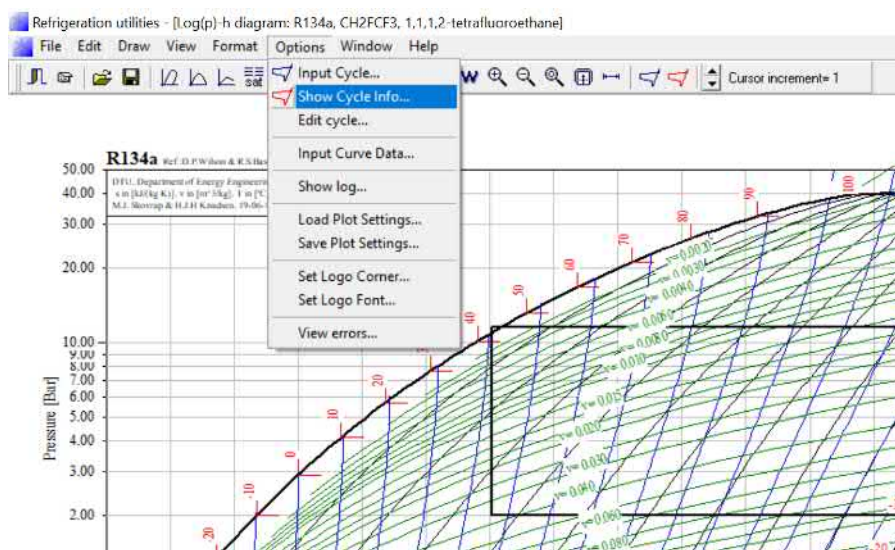
Gambar 2.11 Isian Data Siklus Pengujian

f. Jika sudah maka akan muncul garis 1-4 secara otomatis seperti berikut



Gambar 2.12 Garis 1-4 Perhitungan COP

g. Jika kita ingin melihat informasi gambar tersebut klik *Options – Show Cycle Info*. Jika ingin mengganti data isian siklus klik *Edit Cycle* dan jika ingin menambah siklus baru untuk membedakan awalan dan akhiran dapat menginput curve data baru dengan klik tombol *Input Curve Data* yang ada pada pilihan tersebut.



Gambar 2.13 Cara Melihat Informasi Kalkulasi

- h. Nilai COP akan muncul secara otomatis seperti berikut ini, jika menginginkan lebih detail maka isilah isian dimensi peralatan yang diuji seperti nilai Q_e [kW], Q_c [kW], m [kg/s], V [m³/h], W [kW]

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R134a

Select cycle number:
Uji 1 Sampel 1 (1)

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	-10.00	Condensing temperature [°C]:	45.00
Superheat [K]:	10.00	Subcooling [K]:	2.00
Dp evaporator [bar]:	0.00	Dp condenser [bar]:	0.00
Dp suction line [bar]:	0.00	Dp liquid line [bar]:	0.00
Dp discharge line [bar]:	0.00		
Isentropic efficiency [0-1]:	1.00		

Calculated:

Q_e [kJ/kg]:	139.376
Q_c [kJ/kg]:	177.687
COP:	3.64
W [kJ/kg]:	38.311
Pressure ratio [-]:	5.777

Dimensioning:

Q_e [kW]:	0.000
Q_c [kW]:	0.000
m [kg/s]:	0.00000000
V [m ³ /h]:	0.0000
W [kW]:	0.000
Q_{loss} [kW]:	0.000

Volumetric efficiency:

n_{vol} :	0.00
Displacement [m ³ /h]:	0

OK Coordinates of points... Print Copy Update Help

Gambar 2.14 Informasi Detail Nilai Kalkulasi

Kelebihan dari penggunaan aplikasi ini yaitu lebih detail dan cepat dalam kalkulasi serta akurat dalam peletakan gambar 1-4. Kelemahan jika menggunakan aplikasi ini yaitu harus mensinkronkan data yang ada dengan kondisi riil lapangan dan efek yang dicari adalah efek secara keseluruhan bukan berjangka waktu tertentu misalnya untuk batasan menit tertentu.

2.2.6 Refrigerant

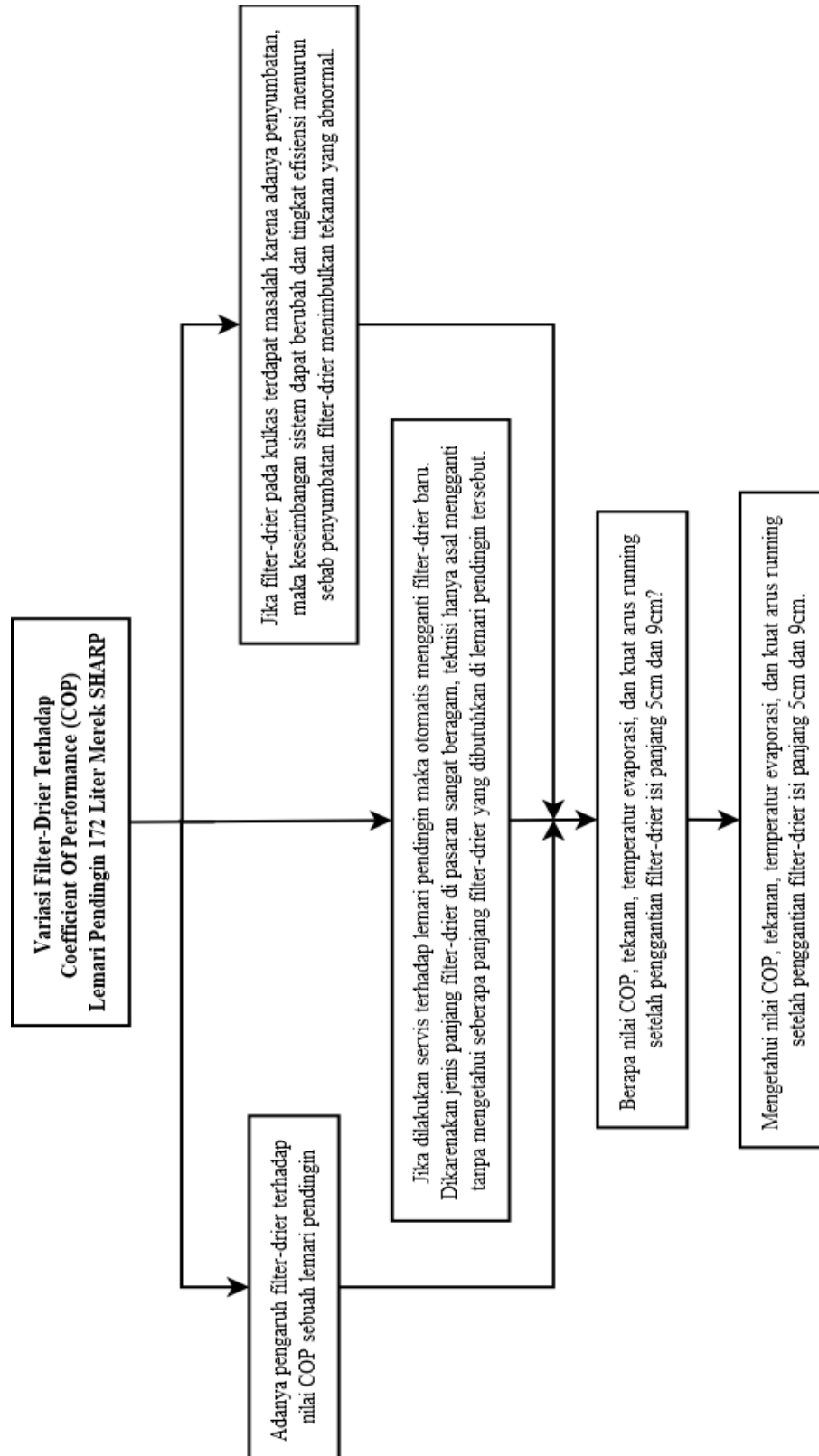
Refrigerant merupakan sebuah liquid yang mempunyai titik didih yang sangat rendah sehingga dari perubahan fasenya tersebut dimanfaatkan untuk menyerap panas dalam evaporator dan membuang panas saat di kondensor.

Menurut (Arismunandar & Saito, 2005:117), persyaratan *refrigerant* untuk unit refrigerasi adalah sebagai berikut:

- a. Tekanan penguapan harus cukup tinggi
- b. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi
- c. Kalor laten penguapan harus tinggi
- d. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil
- e. Koefisien prestasinya harus tinggi
- f. Konduktivitas termal yang tinggi
- g. Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas
- h. Konstanta dielektrika dari *refrigerant* yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik
- i. *Refrigerant* hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai dan tidak menyebabkan korosi
- j. *Refrigerant* tidak boleh beracun dan berbau merangsang
- k. *Refrigerant* tidak boleh mudah terbakar dan mudah meledak
- l. *Refrigerant* harus mudah dideteksi jika terjadi kebocoran
- m. Harganya tidak mahal, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan

Refrigerant era sekarang ini lebih mementingkan ramah lingkungan dan efisiensi tinggi. Spesifikasi *refrigerant* yang lebih detail lihat di halaman Lampiran.

2.3 Kerangka Berpikir



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul Variasi *Filter-drier* Terhadap *Coefficient Of Performance* (COP) Lemari Pendingin 172 Liter Merek SHARP pada Laboratorium Jurusan Pendingin dan Tata Udara SMK Negeri 3 Kota Pekalongan Tahun 2019 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai COP tertinggi ada pada penggunaan *filter-drier* panjang 5cm dengan nilai 2,3 meningkat 10% dari penggunaan *filter-drier* panjang normal 7cm.
2. Nilai COP terendah ada pada penggunaan *filter-drier* panjang 9cm dengan nilai 1,9 menurun 30% dari penggunaan *filter-drier* panjang normal 7cm.
3. Nilai arus penggunaan filter panjang 5cm hanya selisih 0,02A yaitu 0.53A dengan panjang 7cm dan nilai arus penggunaan filter panjang 9cm merupakan arus tertinggi dengan 0.64A.
4. Hasil filter paling efisien dan cepat mencapai suhu kabin berdasarkan pengujian jika dibandingkan dengan *filter-drier* panjang 7cm dan 9cm adalah *filter-drier* panjang 5cm.

Dapat dikatakan bahwa penggunaan filter paling optimal selama 100 menit pengujian adalah *filter-drier* isi dengan panjang 5cm yang mempunyai peningkatan nilai COP sebesar 10% selisih nilai arus 0,02A dan cepat mencapai suhu kabin di menit ke-59 serta ada 3 kali jumlah *clocking* thermostat tercapai.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan dalam mengembangkan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Agar lebih memudahkan dalam pengisian refrigerant, gunakanlah timbangan digital refrigerant
2. Ujilah kompresor sebelum dilakukan penelitian dan uji juga kompresor setelah dilakukan penelitian apakah efisiensi kompresor berkurang atau masih tetap sama setelah dilakukan variasi *filter-drier*.
3. Cobalah penelitian ini di jenis lemari pendingin kulkas 1 pintu dengan refrigerant R-22
4. Lakukanlah pengujian kebocoran dengan teliti agar tidak mengulangi pekerjaan karena hasil sambungan las bocor.

Penelitian ini semoga bermanfaat bagi mahasiswa Teknik yang mempelajari Teknik Pendingin dan Refrigerasi sehingga benar-benar memahami jelas siklus refrigerasi, cara menghitung nilai COP, dan menggunakan diagram mollier atau diagram entalphi. Diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan ke bagian yang lebih besar lagi sehingga dapat diaplikasikan dalam kehidupan masyarakat dan dunia industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Althouse, A. D., Turnquist, C. H., & Bracciano, A. F. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. Tinley Park, Illinois: The Goodheart-Willcox Company, inc.
- Anonim. (2018). REFRIGERATION STRAINERS. Retrieved from Online website: https://dms.hvacpartners.com/docs/1006/Public/0E/STRNRS-VIB_ABSRB-PRSS_CNTR_REG.pdf
- _____. (2019). Brass Manifold Gauge Set w/ Enviro-Guard Hoses w/ Quickseal Fitt. Retrieved February 28, 2019, from Online website: http://www.toolsource.com/manifold-gauges-c-1321_1_5/brass-manifold-gauge-set-w-enviroguard-hoses-w-quickseal-fitt-p-111936.html
- Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Arismunandar, W., & Saito, H. (2005). *Penyegaran Udara* (Cet. 7). Jakaryata: PT. Pradnya Paramita.
- Arora, C. P. (2009). *REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING THIRD EDITION* (Third Edit). New Delhi: The McGraw-Hill Companies.
- ASHRAE. (2014). *ASHRAE HANDBOOK REFRIGERATION SI Edition* (M. S. Owen, Ed.). Atlanta: www.ashrae.org.
- Baldos, G. A. (2014). Low Cost Refrigerant (R12/R-22) Recovery Equipment. *Countryside Development Research Journal*, 2(01), 20–24. Retrieved from <http://ojs.ssu.edu.ph/index.php/CDRJ/article/view/15>
- Baskaran, A., & Mathews, P. K. (2012). A Performance Comparison of Vapour Compression Refrigeration System Using Eco Friendly Refrigerants of Low Global Warming Potential. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(9), 1–8. <https://doi.org/10.1.1.375.5059>
- Bogdanovska, G., Molnar, V., & Fedorko, G. (2018). Failure Analysis of Condensing Units for Refrigerators with Refrigerant R134a, R404A. *International Journal of Refrigeration*. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.11.028>
- Candela, L. S., & W, A. G. (2014). PENINGKATAN COP (COEFFICIENT OF PERFORMANCE) SISTEM AC MOBIL DENGAN MENGGUNAKAN AIR KONDENSASI. *JTM*, 02(2), 162–171. <https://doi.org/10.3390/ma4122092>
- DAIKIN. (2018). *Bahan Pengajaran Instalasi VRV III VRV IV R-410a* (TCDB005C ed.; IDN, Ed.). Jakarta: PT. Daikin Airconditioning Indonesia.

- Daryanto. (2007). *Merawat dan Memperbaiki Kulkas dan AC*. Yogyakarta: Pustaka Widyawati.
- Fatouh, M., & Abou-Ziyan, H. (2018). Energy and exergy analysis of a household refrigerator using a ternary hydrocarbon mixture in tropical environment- Effects of refrigerant charge and capillary length. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.008>
- Giancoli, D. C. (2014). *PHYSICS Principles With Applications* (Seventh Ed; PEARSON, Ed.). United States of Amerika: Jim Smith.
- Homzah, O. F., Hendradinata, & Akui, B. (2017). Pengaruh Variasi Panjang Dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap COP Pada Trainer Sistem Pendingin Dasar. *Jurnal PETRA*, 3(No.1), 15–22. Retrieved from www.jurnal.polsky.ac.id/index.php/petra/article/download/141/137/%0A
- Jakni. (2016). *Metodologi Penelitian Eksperimen Bidang Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Kusbandono, W., & Purwadi, P. (2015). Cop mesin pendingin refrigeran sekunder. *Jurnal Penelitian*, 19(1), 79–86.
- Purwanto. (2007). *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Sahni, E. K., & Chaudhuri, B. (2013). Numerical simulations of contact drying in agitated filter-dryer. *Chemical Engineering Science*, 97, 34–49. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.04.025>
- Sahni, E. K., Hallisey, J., Morgan, B., Strong, J., & Chaudhuri, B. (2012). Quantifying drying performance of a filter dryer : Experiments and simulations. *Advanced Powder Technology*, 23(2), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2011.03.002>
- Santosa, T. H. A., Nadjib, M., Thoharuddin, & Riza, M. A. (2017). Efek Variasi Beban Pendinginan Terhadap Coefficient Of Performance (Cop) Alat Uji Pengukuran Koefisien Evaporasi Menggunakan Refrigeran R-134A. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 20(2), 193–203.
- SHARP. (2019). SJ-195MD-SR/SG Shine Series. Retrieved February 9, 2019, from Online website: <https://www.sharp-indonesia.com/ind/product/konsumen/ref/904/SJ195MDSRSG>
- Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1992). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara* (Edisi Kedu; S. Hara, Ed.). Jakarta: Airlangga.
- Wang, S. K. (2000). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (Second Edi). New York: McGraw-Hill.
- Widodo, S., & Hasan, S. (2008). *SISTEM REFRIGERASI DAN TATA UDARA*

JILID I. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Xu, D., Gu, C., & Chen, X. (2013). Adsorption and removal of acid red 3R from aqueous solution using flocculent humic acid isolated from lignite. *Procedia Environmental Sciences*, *18*, 127–134.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.017>

Zalsman. (2010, June). *FILTER-DRIERS*. Parker Hannifin Ltd, *Refrigeration and Air Conditioning Europe*, (Race Catalogue 40-10 UK).