



PERPUSTAKAAN JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Jl. Jendral Soedirman KM 03 Cilegon. Email : perpus_mesin@untirta.ac.id



SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor : 01.87/Perpus-JTM/I/2024

Operator Turnitin Jurusan Teknik Mesin Untirta Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa menerangkan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas berikut:

Nama : Tegar Soetanto

NPM : 3331190069

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh Kecepatan Rotasi Kipas Kondensor Terhadap Kinerja Alat Laboratorium Pengkondisi Udara

Menyatakan bahwa naskah Skripsi tersebut telah diperiksa *Index Similarity* dengan hasil sebesar **3%**. Sesuai dengan pedoman yang berlaku $Index Similarity \leq 30\%$. Surat keterangan bebas plagiasi ini ditujukan sebagai syarat administrasi Tugas Akhir (TA).

Cilegon, 8 Januari 2024

Diketahui

Koordinator Asisten Perpustakaan



Muhamad Akbar Nugraha

NPM. 3331200040

Disetujui

Petugas Perpustakaan

Intan Nazwa

NPM. 3331200013

Note*

Operator Turnitin : Intan Nazwa

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGARUH KECEPATAN ROTASI KIPAS KONDENSOR
TERHADAP KINERJA ALAT LABORATORIUM
PENGKONDISI UDARA

Skripsi



Disusun Oleh:
TEGAR SOETANTO
3331190069

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2023

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan atas ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Adapun tujuan dari penulisan dari laporan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program Strata-1 (S1). Kemudian, laporan ini juga bertujuan untuk menambah wawasan tentang penelitian yang akan di bahas dan semoga bermanfaat bagi para pembaca dan juga bagi penulis. Laporan ini merupakan salah syarat penyelesaian studi dimana tugas akhir merupakan mata kuliah yang wajib ditempuh pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua dan keluarga saya yang selalu mensupport serta mendoakan sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Imron Rosyadi S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah menyediakan waktu, pikiran, dan tenaga untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Dwinanto, S.T., M.T selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, pikiran, dan tenaga untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas akhir ini.
5. Ibu Shofiatul Ula, S.Pd.I., M.Eng. selaku dosen pembimbing akademik yang terus memberikan pengarahan akan kegiatan perkuliahan dari semester awal hingga selesai ini.
6. Seluruh dosen dan staff di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNTIRTA yang telah memberikan ilmunya. Semoga ilmunya dapat menjadi amal jariyah yang bermanfaat.

7. Teman-teman yang terus menemani dan menyemangati sampai selesai tugas akhir ini.

Saran serta kritik yang membangun untuk penulis diharapkan dapat diberikan untuk mencapai hasil tugas yang lebih baik. Semoga tugas proposal tugas akhir ini bermanfaat bagi siapapun kedepannya.

Cilegon, Januari 2024

Penulis

ABSTRAK

Refrigerasi adalah suatu proses perpindahan kalor pada suatu benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Sesuai dengan konsep kekekalan energi, panas tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dipindahkan. Pada penelitian ini digunakan alat praktikum pengkondisi udara yang telah dilakukan retrofit. Penelitian ini berfokus pada pengaruh dari pengaturan variasi kecepatan putaran *fan* pada kondensor terhadap unjuk kerja alat tersebut. Unjuk kerja yang dimaksud pada penelitian ini yaitu berupa besar nilai kerja kompresor (W_{in}), pelepasan kalor pada kondensor (Q_{con}), Penyerapan kalor pada evaporator (Q_{evap}), *Coefisien of performance* (COP) dan besar nilai efisiensi pada alat. Variasi kecepatan putaran *fan* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1000rpm, 1100rpm, 1200rpm, 1300rpm, 1400rpm. Setelah dilakukannya pembahasan kemudian dapat disimpulkan sebagai berikut, besar nilai penyerapan kalor pada evaporator mengalami peningkatan pada kecepatan terendah 1000rpm yaitu 2,14 kJ/s dan meningkat pada kecepatan 1400rpm yaitu 0,52 kJ/s. Kemudian nilai pelepasan kalor pada kondensor mengalami peningkatan dari kecepatan terendah 1000rpm yaitu sebesar 2,72 kJ/s dan tertinggi pada kecepatan 1400rpm sebesar 3,27kJ/s. Pada nilai COP_{actual} mengalami peningkatan dari kecepatan terendah 1000rpm hingga 1400rpm yang dimana besar nilai terkecilnya 3,72 dan terbesarnya yaitu 5,34. Untuk besar nilai kerja kompresor mengalami penurunan dari kecepatan terendah hingga tertinggi, yang dimana nilai kerja kompresor terkecil 0,52 kJ/s dan nilai tertingginya 0,58 kJ/s. Dan terakhir besar nilai efisiensi dari kecepatan terendah hingga kecepatan putaran kipas tertinggi mengalami kenaikan yang dimana besar nilai efisiensi terendah terjadi pada kecepatan 1000rpm yaitu sebesar 61,8% dan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada kecepatan putaran kipas 1400rpm yaitu sebesar 76,4 %. Dari hasil pemahasan tersebut dapat disimpulkan semakin besar kecepatan putaran kipas maka semakin baik performa dan efisiensi kinerja pada alat sistem refrigerasi pengkondisi udara pada penelitian ini.

Kata kunci: Refrigerasi, Kalor, Kerja kompresor, COP, Efisiensi.

DAFTAR ISI

	Halaman
PROPOSAL TUGAS AKHIR	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah	4
BAB II.....	7
2.1. <i>State of Art</i>	7
2.2. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap.....	8
2.3. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	9
2.3.1. Proses Kompresi.....	9
2.3.2. Proses Kondensasi.....	10
2.3.3. Proses Ekspansi	11
2.3.4. Proses Evaporasi	12
2.4. Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	13
2.4.1 Kompresor.....	13
2.4.2 Kondesor	13
2.4.3 Katup Ekspansi	13
2.4.4 Evaporator.....	14
2.5. Perpindahan Panas	14
2.5.1 Konduksi.....	14

2.5.2	Konveksi	14
2.5.3	Radiasi	15
2.6.	Refrigerant R-32	15
2.7.	Rumus-rumus Perhitungan Unjuk Kerja Pada Sistem Pendingin	17
BAB III	21
3.1.	Metode Penelitian	21
3.2.	Penjelasan Diagram Alir Penelitian	22
3.2.1	Studi Literatur	23
3.2.2	Persiapan Alat dan Bahan	23
3.2.1.1	Alat Penelitian	23
3.2.1.2	Bahan Penelitian	27
3.2.3	Mengidentifikasi masalah yang terdapat pada alat.	27
3.2.4	Membuat Perencanaan Retrofit Alat.....	28
3.2.5	Proses Retrofit Alat	29
3.2.6	Pengujian dan pengambilan data Alat pengujian	30
3.2.7	Analisis Data dan Validasi Data	30
3.2.8	Pengolahan Data	31
3.2.9	Kesimpulan.....	31
3.3.	Waktu dan Tempat pelaksanaan Penelitian	31
BAB IV	32
4.1.	Data Hasil Pengujian	32
4.2.	Analisa Data	32
4.2.1.	Data Enthalpy	32
4.2.2.	Perhitungan Unjuk Kerja Alat Pengujian	33
4.3.	Pembahasan.....	39
4.3.1.	Grafik hubungan putaran <i>fan</i> pada kondensor dengan kerja kompresor Error! Bookmark not defined.	
4.3.2.	Grafik hubungan putaran <i>fan</i> pada kondensor dengan penyerapan kalor pada evaporator (q_e)	39
4.3.3.	Grafik hubungan putaran <i>fan</i> pada kondensor dengan COP _{actual}	40
4.3.4.	Grafik hubungan putaran <i>fan</i> pada kondensor dengan COP _{ideal}	42
4.3.5.	Grafik hubungan putaran <i>fan</i> pada kondensor dengan efisiensi.....	43
BAB V	45
5.1.	Kesimpulan.....	45
5.2.	Saran	46

DAFTAR PUSTAKA	47
----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Siklus Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	8
Gambar 2.2 Diagram P-h siklus kompresi uap	8
Gambar 3.1 Diagram Alir	21
Gambar 3.2 Alat Uji Mesin Pendingin Udara	23
Gambar 3.3 Unit Kontroller	24
Gambar 3.4 <i>Stopwatch</i>	24
Gambar 3.5 Tang amper.....	25
Gambar 3.6 Manifold Gauge.....	25
Gambar 3.7 Thermometer Digital	25
Gambar 3.8 <i>Anemometer</i>	26
Gambar 3.9 <i>Refrigerant R-32</i>	26
Gambar 3.10 Skema Alat Penelitian	27
Gambar 3.11 Identifikasi Masalah pada Alat Uji	27
Gambar 3.12 Diagram Wiring Kontroller	29

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Refrigeran	16
Tabel 3.1 Data Pengujian Tegangan dan Arus Listrik pada Kompresor	29
Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian Tekanan dan Temperatur	30
Tabel 3.3 Data Putaran Fan pada Kondensor, Evaporator dan nilai Enthalpy	31
Tabel 3.4 Hasil perhitungan kalor yang di serap evaporator	31
Tabel 3.5 Hasil perhitungan kerja kompresor	31
Tabel 3.6 Hasil perhitungan kalor yang di serap kondensor	32
Tabel 3.7 Hasil perhitungan unjuk kerja sistem pendingin	32
Tabel 3.8 Rencana Kegiatan Penelitian	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengkondian udara (*Air Conditioning*) merupakan sebuah teknologi yang sangat penting dalam kehidupan di era modern ini. Dengan adanya sistem ini, dapat membantu untuk mengontrol suhu udara yang dapat menghasilkan dua esensial yaitu pemanas dan pendingin. Pada saat ini pengkondisian udara sudah menjadi standar pada sebuah bangunan umum ataupun pribadi di berbagai skala penjuru dunia. Untuk negara – negara yang merasakan perubahan 4 musim sistem pengkondian udara ini akan berubah fungsi yang dimana pada saat musim dingin akan menjadi alat pemanas udara dan pada saat musim panas akan di ubah sebagai alat pendingin udara. Di Indonesia yang dimana merupakan negara yang berada di garis katulistiwa yang hanya mengalami dua musim, pada umumnya alat pengkondisian udara hanya akan di gunakan pada mode pendingin udara saja (Almaududi 2020). Sistem pendingin udara bekerja dengan menerapkan konsep dasar dari siklus pendingin yang mengubah bentuk zat pendingin secara berkala untuk mengalihkan panas dari dalam ruangan ke luar, sehingga suhu di dalam ruangan dapat dijaga pada tingkat yang diinginkan.

Pada sistem Refrigerasi atau pendingin udara (*Air Conditioning*), komponen utama yang memiliki peran besar dalam mentransfer kalor adalah evaporator dan kondensor. Evaporator memiliki fungsi untuk menyerap kalor dari udara dan mendinginkannya dengan memanfaatkan refrigerant yang dimana refrigerant pada evaporator mengalami perubahan bentuk dari cair menjadi gas. Selanjutnya refrigerant akan melepas kalor tersebut melalui kondensor diruang yang tidak didinginkan. Sedangkan Kondensor memiliki fungsi untuk melepas kalor dan mengubah wujud bahan pendingin atau refrigerant dari gas menjadi cair (Poernomo 2015).

Laju aliran udara yang masuk pada kondensor dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi sistem refrigerasi (*air conditioning*) secara keseluruhan. Kebutuhan untuk mengatur suhu yang berbeda di berbagai jenis ruangan. Menurut

Poernomo, 2015 dari hasil penelitian yang sudah dilakukan yaitu mencari karakteristik unjuk kerja dari pengaruh melakukan variasi putaran kipas yang ada di kondensor. Dari hasil pembahasan penelitian dan perhitungan yang sudah dilakukan, Poernomo, 2015 mengatakan bahwa jika suatu laju aliran udara semakin besar yang dimana bertujuan untuk mendinginkan kondensor dengan begitu besarnya nilai koefisien prestasi suatu alat sistem refrigerasi akan semakin meningkat. Hal tersebut diakibatkan karena semakin meningkatnya pelepasan kalor yang terjadi akan membuat temperature yang ada pada kondensor semakin menurun, dan dengan terjadinya proses tersebut dapat membuat temperatur yang lebih rendah lagi pada keluaran evaporator. Dengan begitu kerja kompresor lebih ringan pada variasi laju pelepasan kalor yang paling besar (Poernomo 2015). Kemudian menurut Rabbani dan kawan kawan, 2021 yang melakukan penelitian mengenai kinerja evaporator dengan melakukan pengaturan laju aliran udara yang melintasi evaporator, disimpulkan bahwa laju aliran udara dengan mengatur kecepatan *fan* mampu mempengaruhi kinerja evaporator (Rabbani et al. 2021).

Dalam rangka mengutamakan efisiensi energi dan keberlanjutan, pemahaman mendalam tentang dampak laju aliran udara yang masuk ke kondensor terhadap unjuk kerja sistem pendingin udara menjadi sangat penting. Oleh karena itu, diperlukan studi dan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan laju aliran udara, serta meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan dari sistem pendingin udara tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan putaran *fan* yang ada pada kondensor pada alat yang akan di uji. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi mengenai optimalisasi efisiensi energi pada sistem pendingin udara dan juga dapat di manfaatkan sebagai modul baru yang dapat digunakan pada Praktikum Prestasi Mesin, Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut merupakan beberapa rumusan masalah yang dapat menjadi dasar penelitian yang akan dilakukan mengenai pengaruh laju aliran udara masuk pada

kondensor terhadap terhadap prestasi kerja pada alat sistem refrigerasi *air conditioning*.

1. Melakukan retrofit alat penelitian salah satu cohnya dengan membuat unit kontroller yang berfungsi sebagai switch on off sistem refrigerasi, mengatur kecepatan putaran kipas kondenser.
2. Pengaturan kecepatan *fan* dengan menggunakan dimmer yang terhubung pada unit kontroller.
3. Bagaimana pengaruh variasi laju aliran udara masuk pada kondensor terhadap kinerja pendinginan sistem refrigerasi alat pengkondisi udara?
4. Bagaimana perubahan laju aliran udara masuk pada kondensor mempengaruhi besar nilai COP (Coefficient of Performance) pada sistem alat pengkondisi udara, dengan memvariasikan kecepatan putarnya kipas yaitu dari 1000rpm, 1100rpm, 1200rpm, 1300rpm dan 1400rpm?
5. Bagaimana laju aliran udara masuk pada kondensor mempengaruhi efisiensi kinerja dari sistem pengkondisi udara, dan pada kecepatan putaran berapa efisiensi terbaik di dapatkan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut ini merupakan tujuan dari penelitian mengenai **pengaruh laju aliran udara masuk pada kondensor terhadap terhadap kinerja sistem refrigerasi alat pengkondisi udara**

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan laju aliran udara pada kondensor terhadap parameter unjuk kerja sistem pendingin. Penelitian ini akan membantu dalam memahami bagaimana pengaturan laju aliran udara yang masuk ke kondensor mempengaruhi kinerja sistem refrigerasi alat pengkondisi udara.
2. Menganalisis pengaruh laju aliran udara masuk kondensor terhadap kinerja alat pengkondisi udara. Tujuan ini akan membantu dalam memahami bagaimana pengaturan laju aliran udara dapat memengaruhi COP (Coefficient of Performance). Dengan begitu diharapkan dari penelitian ini dapat mengetahui kondisi pada kecepatan putaran kipas berapa, untuk performa alat yang paling baik

3. Mengetahui ¹ pengaruh laju aliran udara masuk pada kondensor terhadap efisiensi kinerja sistem refrigerasi alat pengkondisi udara. Tujuan ini akan membantu mengidentifikasi pengaturan optimal laju aliran udara yang dapat menghasilkan penggunaan energi yang lebih efisien.

Dengan mencapai tujuan-tujuan tersebut, penelitian ini akan memberikan wawasan yang lebih baik tentang pentingnya pengaturan laju aliran udara pada kondensor dalam mencapai kinerja optimal dan efisiensi sistem pendingin udara.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh laju aliran udara masuk kondensor terhadap prestasi kerja sistem refrigerasi air conditioning memiliki berbagai manfaat yang dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi dan praktik industri. Beberapa manfaat penting dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat membantu mengidentifikasi pengaturan optimal laju aliran udara masuk yang akan meningkatkan efisiensi energi sistem refrigerasi alat pengkondisi udara.
2. Dengan memahami pengaruh laju aliran udara pada kondensor, perangkat dapat diatur untuk mencapai kinerja yang lebih baik dalam hal kapasitas pendinginan, pengaturan suhu, dan kualitas udara dalam ruangan.
3. Hasil penelitian ini dapat menghasilkan pedoman praktis bagi perancang dan operator sistem pendingin udara dalam mengatur laju aliran udara pada kondensor. Pedoman ini dapat membantu menghindari pengaturan yang tidak efisien atau merugikan.
4. Penelitian ini dapat membuka jalan bagi pengembangan teknologi baru dalam desain dan pengoperasian sistem pendingin udara yang lebih adaptif dan responsif terhadap kondisi lingkungan dan kebutuhan pengguna.
5. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai modul pembelajaran tambahan bagi mahasiswa untuk memahami gambaran dasar mengenai sistem refrigerasi.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah adalah hal-hal yang membatasi cakupan dan fokus penelitian yang dilakukan. Berikut adalah beberapa batasan masalah yang dapat

diterapkan pada topik " PENGARUH KECEPATAN PUTARA KIPAS KONDENSOR TERHADAP KINERJA ALAT LABORATORIUM PENGKONDISI UDARA ":

1. Penelitian ini akan berfokus pada analisis teoritis. Pengumpulan data lapangan atau percobaan fisik tidak akan termasuk dalam lingkup penelitian ini.
2. Penelitian ini akan mempertimbangkan pengaruh laju aliran udara masuk pada kondensor terhadap efisiensi energi, kapasitas pendinginan, dan kualitas udara dalam ruangan. Variabel lain seperti suhu lingkungan atau variasi beban pendinginan tidak akan dibahas secara mendalam.
3. Penelitian akan berfokus pada ruangan tertentu dengan ukuran dan karakteristik standar. Variasi jenis ruangan (misalnya, kantor, ruang tamu, atau ruang tidur) tidak akan ditinjau.
4. Penelitian ini akan mempertimbangkan sistem refrigerasi menggunakan refrigeran umum yaitu refrigerant R32 dan umumnya digunakan dalam sistem *air conditioning*. Penggunaan refrigeran eksotis atau alternatif tidak akan menjadi fokus utama.
5. Analisis prestasi kerja akan difokuskan pada efisiensi energi dan kapasitas pendinginan. Aspek lain seperti pengaruh laju aliran udara terhadap pengendalian kelembaban atau perangkat lain dalam sistem pendingin udara mungkin tidak akan dibahas secara rinci.
6. Penelitian ini akan mempertimbangkan pengaruh laju aliran udara dalam jangka waktu tertentu dan tidak akan mempertimbangkan perubahan seiring waktu atau dalam jangka panjang.
7. Penelitian ini akan berfokus pada kondisi lingkungan umum dan tidak akan mempertimbangkan variasi geografis yang signifikan.
8. Variabel yang dapat diatur atau dipengaruhi pada penelitian ini hanya terfokus pada variasi kecepatan kipas kondensor yaitu pada kecepatan 1000rpm, 1100 rpm, 1200 rpm, 1300 rpm, 1400 rpm. Untuk variasi kerja kompresor di abaikan dikarenakan kompresor akan bekerja secara maksimal atau konstan.

9. Kompresor yang digunakan pada penelitian ini Kompresor AC R-32 dengan spesifikasi 1 PK.
10. Tekanan ideal pengisian refrigerant R-32 pada alat penelitian ini yaitu sebesar 100psi, hal tersebut berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh teman satu tim.

Dengan menetapkan batasan-batasan ini, Dapat memfokuskan penelitian ini pada aspek-aspek kunci yang ingin di eksplorasi dalam pengaruh laju aliran udara masuk pada kondensor terhadap kinerja sistem refrigerasi alat pengkondisi udara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *State of Art*

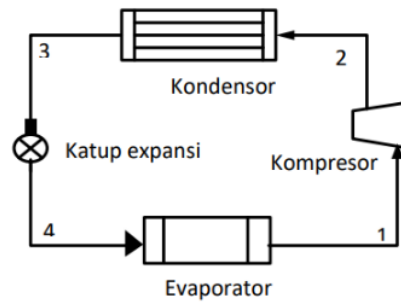
Pada pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis menggunakan berbagai referensi yang berasal dari jurnal-jurnal dan juga skripsi yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Almaududi 2020). Secara analitis, dengan melakukan peningkatan aliran udara yang masuk sebelum evaporator dapat mempercepat pertukaran panas, yang pada gilirannya dapat meningkatkan nilai COP (*Coefficient of Performance*). Pada penelitian yang dilakukannya memiliki tujuan dari untuk merencanakan eksperimen yang bertujuan untuk memahami dampak perubahan suhu di evaporator, suhu di kondensor, perubahan nilai kelembaban udara, dan nilai indeks kapasitas pendinginan (COP) akibat variasi kecepatan aliran udara masuk ke evaporator. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa laju aliran udara masuk ke evaporator memengaruhi perubahan suhu di evaporator dan kondensor. Kelembaban udara di dalam ruangan juga dipengaruhi oleh variasi kecepatan aliran udara masuk ke evaporator. Kesimpulan lainnya adalah bahwa semakin besar kecepatan aliran udara masuk ke evaporator, semakin tinggi nilai COP. Ini terjadi karena peningkatan kecepatan aliran udara ke evaporator dapat mempercepat pertukaran panas, yang pada akhirnya akan meningkatkan indeks kapasitas pendinginan (COP). Kemudian menurut (Rabbani et al. 2021) pada penelitian yang dilakukannya mengenai pengaruh kecepatan aliran udara yang melewati evaporator disimpulkan bahwa Pengaruh kinerja evaporator juga ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk jenis bahan evaporator, desain konstruksinya, dan arah perpindahan panas. Kondisi kebersihan atau kekotoran pada evaporator juga dapat memengaruhi kinerjanya. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis, dapat disimpulkan bahwa dengan mengubah laju

aliran udara melalui perubahan kecepatan kipas pada mesin heat pump, kita dapat mengubah kinerja evaporator.

(Poernomo 2015) Menurut penelitian yang dilakukannya yang dimana membahas mengenai pengaruh dari variasi kecepatan laju aliran udara yang melewati kondensor. Untuk menghasilkan variasi dalam putaran kipas kondensor, dilakukan dengan melakukan perubahan dalam frekuensi motor listrik pada kipas. Rentang variasi putaran motor listrik untuk kipas kondensor adalah dari 50 rpm hingga 150 rpm. Data yang tercatat berupa tekanan dan suhu kemudian diplot dalam diagram P-h untuk refrigeran R-22. Berdasarkan analisis dan perhitungan data yang dikumpulkan, dapat disimpulkan beberapa karakteristik dan performa sistem pendingin. Semakin tinggi laju aliran udara yang digunakan untuk mendinginkan kondensor, maka nilai koefisien prestasi (COP) akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh pelepasan kalor yang lebih efisien, yang mengakibatkan suhu kondensor menjadi lebih rendah. Akibatnya, suhu keluaran evaporator juga bisa mencapai tingkat yang lebih rendah. Dengan demikian, kompresor bekerja dengan lebih ringan pada variasi laju pelepasan kalor yang paling tinggi.

2.2. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Refrigerasi adalah suatu proses perpindahan kalor pada suatu benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Sesuai dengan konsep kekekalan energi, panas tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dipindahkan. Maka dari itu refrigerasi selalu berhubungan dengan proses aliran kalor dan perpindahan kalor. Pada siklus refrigerasi *air condition* menampilkan proses yang terjadi atas panas/kalor setelah dikeluarkan dari udara oleh refrigeran di dalam koil (evaporator) (Ramli Rasyid and Muhsin Z 2017). Terdapat bermacam-macam jenis-jenis sistem refrigerasi, namun yang paling umum digunakan yaitu refrigerasi dengan menggunakan sistem kompresi uap. Yang dimana komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor.

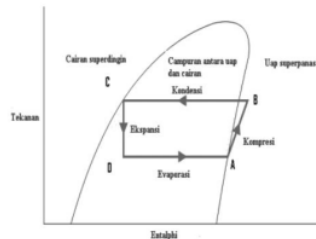


Gambar 2.1 Skema Siklus Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sumber: (Ramli Rasyid and Muhsin Z 2017)

2.3. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Pada siklus kompresi uap, pada saat tahap evaporator, refrigeran yang sedang melewati evaporator akan menyerap kalor dari dalam ruangan, sehingga menyebabkan panas tersebut mengubah refrigeran menjadi uap. Kemudian setelah melewati evaporator, uap refrigeran akan ditekan oleh kompresor hingga mencapai tekanan kondensor. Pada saat di kondensor, uap refrigeran akan diubah menjadi cairan dengan mengeluarkan panas ke lingkungannya. Selanjutnya, refrigeran akan mengalir kembali ke evaporator untuk dimulai kembali siklusnya (Ilmiah and Cepu 2015).



Gambar 2.2 Diagram P-h siklus kompresi uap

Sumber : (Siagin 2015)

2.3.1. Proses Kompresi

Proses Kompresi pada Kompresor yaitu proses pada saat uap refrigeran yang keluar dari kompresor memiliki tekanan yang tinggi

karena kompresor melakukan kerja terhadap refrigeran (W). Penghitungan tekanan kompresi ini dapat dilakukan dengan mengacu pada data utama yang dikumpulkan dari pengamatan lapangan terhadap tekanan rata-rata pada inlet dan outlet kompresor. Dengan menggunakan grafik tekanan – entalpi, nilai entalpi refrigeran saat masuk dan keluar kompresor dapat diperoleh dari nilai tekanan rata-rata tersebut (Ahmad Jibril et al. 2022). Kompresor merupakan komponen utama yang bertanggung jawab untuk melakukan kompresi pada refrigeran. Ketika gas refrigeran masuk ke dalam kompresor, tekanan ditingkatkan dengan cara melakukan kerja terhadap gas tersebut. Ini menyebabkan peningkatan tekanan dan suhu refrigeran. Proses kompresi menyebabkan peningkatan tekanan refrigeran. Tekanan yang lebih tinggi membuat refrigeran menjadi lebih padat dan lebih panas. Ini penting untuk memfasilitasi perpindahan panas dari dalam ruangan atau benda yang perlu didinginkan ke lingkungan luar. Selama kompresi, gas refrigeran juga mengalami pemanasan signifikan karena energi kerja yang diberikan oleh kompresor. Ini penting untuk memastikan bahwa refrigeran memiliki energi termal yang cukup tinggi untuk mengeluarkan panas saat melalui proses kondensasi. Dalam analisis proses kompresi, sering digunakan diagram tekanan-entalpi (P-h diagram) untuk memvisualisasikan perubahan tekanan dan entalpi. Proses kompresi digambarkan sebagai garis diagonal naik di diagram ini, mewakili kenaikan tekanan dan entalpi.

2.3.2. Proses Kondensasi

Proses kondensasi merupakan bagian dari siklus pendinginan dasar, yang melibatkan empat tahap utama: evaporasi, kompresi, kondensasi, dan ekspansi. Dalam proses ini, gas refrigeran diubah dari bentuk uap menjadi cairan dan kembali lagi ke bentuk uap saat melewati berbagai komponen dalam sistem. Saat gas refrigeran bertekanan tinggi dan suhu tinggi memasuki kondensor, panas dilepaskan dari refrigeran ke lingkungan luar. Ini

menyebabkan refrigeran berubah dari bentuk uap menjadi cairan, karena energi panas dilepaskan dan suhu turun. Selama proses kondensasi, panas yang diambil dari dalam ruangan atau benda yang didinginkan selama tahap evaporasi dan kompresi sekarang dilepaskan ke lingkungan luar (Datta, Das, and Mukhopadhyay 2014). Ini terjadi karena perbedaan suhu antara refrigeran yang masuk ke kondensor dan udara di sekitarnya. Kondensor memiliki sirip atau permukaan penukar panas yang dirancang untuk meningkatkan transfer panas dari refrigeran ke lingkungan luar. Udara di sekitar kondensor membantu mendinginkan refrigeran, dan cairan yang terbentuk selama kondensasi mengalir melalui sistem menuju ekspansi. Setelah melewati proses kondensasi, refrigeran telah mengalami penurunan suhu yang signifikan dan kembali menjadi cairan. Cairan ini kemudian dikirimkan ke katup ekspansi atau perangkat ekspansi lainnya, di mana tekanan dikurangi dan refrigeran menguap lagi, memulai tahap evaporasi di evaporator.

2.3.3. Proses Ekspansi

Proses ekspansi adalah tahap penting dalam siklus pendinginan atau sistem refrigerasi. Ini terjadi dalam katup ekspansi atau perangkat ekspansi lainnya, yang bertanggung jawab untuk mengurangi tekanan refrigeran yang sudah menjadi cairan setelah melewati kondensor. Proses ini menyebabkan refrigeran mengalami ekspansi mendadak, mengubahnya kembali menjadi bentuk uap yang lebih dingin dan beruap saat memasuki evaporator. Proses ekspansi merupakan bagian dari siklus pendinginan dasar, yang melibatkan empat tahap utama: evaporasi, kompresi, kondensasi, dan ekspansi. Setelah meninggalkan kondensor, refrigeran yang sudah berbentuk cairan memiliki tekanan yang lebih tinggi (Rabbani et al. 2021). Pada tahap ekspansi, tekanan secara mendadak dikurangi saat refrigeran melewati katup ekspansi atau perangkat ekspansi lainnya. Ini menyebabkan refrigeran mengalami ekspansi dan mengubah kembali menjadi bentuk uap. Proses ekspansi adalah

proses endotermik, yang berarti refrigeran harus menyerap panas dari sekitarnya untuk dapat mengatasi perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Akibatnya, refrigeran menjadi lebih dingin dan lebih sejuk. Uap refrigeran yang lebih dingin dan beruap kemudian masuk ke dalam evaporator. Di sini, refrigeran akan menyerap panas dari lingkungan sekitar, termasuk udara di dalam ruangan atau permukaan benda yang perlu didinginkan. Ini mengakibatkan pendinginan dan mengembalikan refrigeran ke bentuk uap. Setelah melewati evaporator, siklus pendinginan akan berulang. Uap refrigeran yang baru saja melewati evaporator akan masuk kembali ke kompresor, di mana proses kompresi, kondensasi, dan ekspansi akan terjadi kembali.

2.3.4. Proses Evaporasi

Proses evaporasi adalah tahap penting dalam siklus pendinginan atau sistem refrigerasi. Ini terjadi dalam evaporator, yang bertanggung jawab untuk mengubah refrigeran cair menjadi uap dengan cara menyerap panas dari dalam ruangan atau benda yang perlu didinginkan. Proses evaporasi merupakan bagian dari siklus pendinginan dasar, yang melibatkan empat tahap utama: evaporasi, kompresi, kondensasi, dan ekspansi. Ketika refrigeran cair memasuki evaporator, tekanan dan suhu refrigeran berkurang. Ini menyebabkan refrigeran menguap dan berubah menjadi uap (Lee and Jeong 2016). Proses penguapan ini memerlukan energi panas yang ditarik dari lingkungan sekitar, seperti udara di dalam ruangan atau benda yang perlu didinginkan. Panas yang ditarik oleh refrigeran selama penguapan berasal dari dalam ruangan atau benda yang didinginkan. Ini menyebabkan suhu lingkungan atau permukaan benda tersebut menurun, menciptakan efek pendinginan yang diinginkan. Selama proses evaporasi, energi panas yang diperlukan untuk mengubah cairan menjadi uap disebut energi panas laten. Ini adalah energi yang diserap tanpa menyebabkan perubahan suhu. Pada titik ini, refrigeran telah mengambil energi termal dari

dalam ruangan atau benda, mendinginkannya. Refrigeran yang telah berubah menjadi uap akan terus mengalir melalui sistem ke kompresor, di mana tekanan dan suhu ditingkatkan. Proses berlanjut dengan kompresi, kondensasi, dan ekspansi hingga siklus pendinginan kembali ke evaporator. Proses evaporasi adalah kunci dalam mengeluarkan panas dari dalam ruangan atau benda yang perlu didinginkan, menjaga suhu yang diinginkan, dan menciptakan efek pendinginan yang diperlukan. Saat refrigeran menguap, ia menyerap panas dan mendinginkan lingkungan sekitarnya, yang merupakan dasar dari fungsionalitas sistem pendinginan atau AC.

2.4. Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem pendingin udara atau sistem refrigerasi terdiri dari berbagai komponen utama yang bekerja bersama untuk mengatur suhu dan memindahkan panas dari satu tempat ke tempat lain. Berikut adalah penjelasan tentang beberapa komponen utama dalam sistem refrigerasi:

2.4.1 Kompresor

Kompresor adalah komponen yang paling penting dalam sistem refrigerasi. Fungsinya adalah menghisap refrigeran berbentuk gas/vapor dari evaporator, menekan (mengkompres) gas refrigeran tersebut, dan mendorongnya ke kondensor dengan tekanan dan suhu yang lebih tinggi (Moran et al. n.d.). Ini memulai siklus pendinginan dan menciptakan perbedaan tekanan yang diperlukan dalam sistem.

2.4.2 Kondesor

Kondensor bertanggung jawab untuk mengubah gas refrigeran bertekanan tinggi dan suhu tinggi dari kompresor menjadi cairan dengan melepaskan panas ke lingkungan luar. Proses ini penting untuk membuang panas yang telah diambil dari dalam ruangan atau benda yang didinginkan selama tahap evaporasi.

2.4.3 Katup Ekspansi

Katup ekspansi atau perangkat ekspansi lainnya mengurangi tekanan refrigeran cair yang keluar dari kondensor. Ini

menyebabkan refrigeran mengalami ekspansi dan berubah kembali menjadi uap dingin saat memasuki evaporator. Proses ini membantu menjaga siklus pendinginan berjalan.

2.4.4 Evaporator

Evaporator adalah komponen di mana refrigeran berubah dari bentuk cair menjadi uap, atau menguap, dengan menyerap panas dari lingkungan sekitar. Ini menciptakan efek pendinginan di sekitar evaporator, seperti udara di dalam ruangan atau permukaan benda yang perlu didinginkan.

2.5. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses alami di mana panas bergerak dari area yang lebih panas ke area yang lebih dingin. Ini adalah konsep penting dalam pemahaman bagaimana energi panas disalurkan dalam berbagai sistem dan fenomena. Terdapat tiga mekanisme utama perpindahan panas: konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.5.1 Konduksi

Konduksi adalah proses yang dimana panas yang mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu rendah di dalam satu medium (dapat cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung (Irawati, Huda, and Kurniawan 2019). Ini terjadi karena atom atau molekul dalam bahan menggetarkan satu sama lain, dan panas dipindahkan dari atom yang lebih cepat bergerak ke atom yang lebih lambat bergerak dalam rantai tersebut. Ini sering terjadi dalam bahan padat, seperti logam atau kayu. Contohnya adalah menghangatkan ujung besi yang terhubung dengan pegangan kayu; panas akan bergerak melalui besi menuju kayu.

2.5.2 Konveksi

Konveksi adalah mekanisme perpindahan panas yang melibatkan pergerakan massa fluida (cairan atau gas) yang mengalir. Ketika fluida dipanaskan, ia menjadi kurang dense dan naik, sementara fluida yang dingin turun untuk menggantikannya. Ini menciptakan

aliran konvektif di dalam fluida yang memindahkan panas dari satu tempat ke tempat lain. Konveksi terjadi dalam banyak situasi, seperti pergerakan udara panas di dalam ruangan, sirkulasi air panas dalam panci yang dipanaskan, atau bahkan dalam aliran magma di dalam bumi.

2.5.3 Radiasi

Radiasi adalah Berlainan dengan mekanisme konduksi dan konveksi, dimana perpindahan energi terjadi melalui bahan antara, kalor juga dapat berpindah melalui daerah-daerah hampa. Mekanismenya adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik, dan sinar ultraviolet (Irawati, Huda, and Kurniawan 2019). Objek yang lebih panas mengirimkan radiasi panas ke objek yang lebih dingin tanpa perantara. Ini adalah prinsip dasar bagaimana matahari memancarkan panas ke Bumi. Semua objek mengirimkan radiasi panas sesuai dengan suhu mereka sendiri. Radiasi panas juga memiliki peran penting dalam dunia teknologi, seperti dalam oven pemanggangan atau aplikasi medis yang menggunakan sinar-X

2.6. Refrigerant R-32

Refrigerant adalah substansi kimia yang digunakan dalam sistem pendingin dan sistem tata udara (AC) untuk mentransfer panas dari satu tempat ke tempat lainnya. Ini adalah elemen penting dalam siklus pendingin dan berperan dalam mengubah wujud zat dari cair ke gas dan sebaliknya (Prayogi and Al Huda 2022). Refrigeran R-32 adalah jenis refrigeran yang digunakan dalam sistem pendingin dan pendingin udara. Ini termasuk dalam kelompok refrigeran tipe HFC (Hydrofluorocarbon) yang merupakan bagian dari upaya untuk menggantikan refrigeran yang lebih berbahaya bagi lingkungan, seperti CFC (Chlorofluorocarbon) dan HCFC (Hydrochlorofluorocarbon), yang telah dilarang atau dibatasi penggunaannya karena dampak negatifnya terhadap lapisan ozon dan pemanasan global.

Berikut beberapa poin penting tentang refrigeran R-32:

1. **Komposisi:** R-32 adalah hidrokarbon yang terdiri dari dua atom karbon dan empat atom hidrogen, sehingga disebut sebagai difluorometana. Formula kimianya adalah CH_2F_2 .
2. **GWP Rendah:** Salah satu keunggulan utama R-32 adalah memiliki GWP (*Global Warming Potential*) yang relatif rendah dibandingkan dengan refrigeran lain seperti R-22 atau R-410A. GWP mengukur dampak potensial terhadap pemanasan global, dan GWP yang lebih rendah mengindikasikan dampak yang lebih rendah.
3. **Efisiensi Energi:** R-32 dikenal memiliki kemampuan pendinginan yang baik dan efisiensi energi yang tinggi. Itu membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk sistem pendingin yang berfokus pada efisiensi energi.
4. **Tidak Beracun dan Tidak Mudah Terbakar:** R-32 dianggap aman karena tidak beracun dan tidak mudah terbakar dalam kondisi normal penggunaan. Namun, tetap perlu dilakukan penanganan yang hati-hati.
5. **Kemampuan Pemulihan Panas yang Baik:** Refrigeran R-32 memiliki kemampuan pemulihan panas yang baik, yang berarti dapat menghasilkan panas lebih banyak saat digunakan sebagai alat pemanas dalam sistem pompa panas.
6. **Penggunaan Umum:** R-32 digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem pendingin rumah tangga, sistem komersial, dan industri. Ini juga digunakan dalam sistem AC mobil.
7. **Peraturan Lingkungan:** Mengingat GWP yang rendah, R-32 telah menjadi pilihan utama dalam peraturan lingkungan yang bertujuan mengurangi dampak pemanasan global.
8. **Perbandingan dengan R-22A:** R-32 sering kali dibandingkan dengan refrigeran R-410A, yang lebih umum digunakan sebelumnya. R-32 memiliki GWP yang lebih rendah daripada R-410A, sehingga dianggap lebih ramah lingkungan.

Namun, seperti semua refrigeran, penggunaan R-32 tetap memerlukan penanganan yang hati-hati, terutama dalam hal pemeliharaan,

perbaikan, dan penggantian sistem pendingin. Jika refrigeran ini bocor ke atmosfer, hal itu bisa memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemilik dan teknisi yang bekerja dengan sistem yang menggunakan R-32 harus mematuhi pedoman dan regulasi yang berlaku.

Tabel 2.1 Perbandingan Refrigeran

Sumber : (Prayogi and Al Huda 2022)

Refrigeran	ODP	GWP	Flammability
R-32	0	675	Rendah
R-22	0,05	1810	Tidak
R-410A	0	2090	Tidak
R-134	0	1340	Tidak

Keterangan

ODP : *Ozone depletion potential* alias potensi perusakan ozone.

GWP: *Global warming potential* alias potensi pemanasan global.

Flammability: Tingkat mudah terbakar Freon

2.7. Rumus-rumus Perhitungan Unjuk Kerja Pada Sistem Pendingin

Prestasi mesin pada sistem refrigerasi mencakup sejumlah faktor, termasuk efisiensi, kapasitas pendinginan, performa tekanan, dan lainnya. Berikut adalah penjelasan beberapa parameter penting yang mempengaruhi prestasi mesin pada sistem refrigerasi, beserta rumus yang terkait:

Besar Kerja Kompresi (W_{in}):

Besarnya kerja kompresi dalam konteks sistem refrigerasi atau sistem kompresi adalah jumlah energi yang diperlukan oleh kompresor untuk mengompres refrigeran dari keadaan tekanan dan suhu rendah ke tekanan dan suhu yang lebih tinggi (Ramli Rasyid and Muhsin Z 2017). Kompresi adalah salah satu tahap kunci dalam siklus kerja sistem refrigerasi dan perangkat seperti pendingin udara, kulkas, atau sistem pendinginan industri. Besarnya kerja kompresi merupakan indikator penting dari seberapa efisien sistem kompresi dalam menghasilkan perubahan tekanan dan suhu pada

refrigeran. Besar kerja kompresi biasanya diukur dalam satuan energi seperti joule (J) atau kilojoule (kJ).

Kerja kompresi dapat ditemukan menggunakan persamaan dasar dalam termodinamika, seperti hukum pertama termodinamika (hukum kekekalan energi). Dalam hal ini, besarnya kerja kompresi (W_{in}) dapat dinyatakan sebagai:

$$W_{in} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots 2.1$$

Sumber : (Bagus Suryasa Majanasastra 2015)

Keterangan:

h_1 : Entalpi masuk kondensor (kJ/kg)

h_2 : Entalpi keluar Evaporator (kJ/kg)

Kalor yang di lepas oleh kondensor (q_c)

Kalor yang di lepas oleh kondensor dapat dicara dengan menggunakan perhitungan berikut ini :

$$q_c = h_2 - h_3 \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

h_2 = Entalpi masuk kondensor (kJ/kg)

h_3 = Entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

Kalor yang diterima oleh evaporator (q_e)

Kalor yang di terima oleh evaporator dalam persatuan massa *refrigerant* dapat di hitung dengan persamaan rumus berikut ini:

$$q_e = h_1 - h_4 \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan:

h_1 = Entalpi masuk kondensor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

COP (*Coefficient of Performance*)

Coefficient of Performance (COP) atau Koefisien Kinerja adalah sebuah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi suatu sistem pemanasan, ventilasi, pendinginan, atau refrigerasi. COP mengukur

seberapa baik sistem tersebut mengubah energi yang digunakan menjadi energi yang dihasilkan atau disediakan untuk mencapai tujuan tertentu, seperti pendinginan atau pemanasan (Ahmad Jibril et al. 2022). Terdapat dua definisi umum COP, yaitu COP pemanasan dan COP pendinginan:

1. **COP Aktual** : COP aktual (Coefficient of Performance aktual) adalah pengukuran efisiensi aktual dari sistem pendingin atau pemanas. Ini adalah angka yang menggambarkan sejauh mana sistem tersebut berhasil dalam melakukan tugasnya dalam mengubah energi listrik atau bahan bakar menjadi panas atau pendingin yang diinginkan. COP aktual dalam sistem pendingin dinyatakan sebagai rasio antara panas atau pendingin yang dihasilkan (output) dibandingkan dengan energi yang digunakan (input) untuk mencapai hasil tersebut. Formula umum untuk menghitung COP aktual dalam sistem.

$$\text{COP}_{\text{Aktual}} = \frac{q_e}{w_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots 2.4$$

Sumber : (Bagus Suryasa Majanasastra 2015)

Keterangan:

q_e = Kalor yang di lepas kondensor (kJ/kg)

w_{in} = Besar Kerja Kompresi (kJ/kg)

2. **COP ideal** : COP ideal (Coefficient of Performance ideal) adalah ukuran teoretis tentang sejauh mana sebuah sistem pendingin atau pemanas dapat bekerja dalam kondisi sempurna, tanpa kehilangan energi sama sekali. Ini merupakan nilai teoritis yang mencerminkan efisiensi maksimal yang dapat dicapai oleh sistem tersebut dalam teori. Untuk sistem pendingin, COP ideal akan mencapai nilai tertinggi ketika seluruh energi yang digunakan untuk menggerakkan sistem tersebut diubah menjadi pendingin, tanpa kehilangan energi panas pada kondisi tertentu. Namun, dalam dunia nyata, tidak ada sistem yang dapat mencapai COP ideal karena selalu ada kerugian energi dalam bentuk panas yang tidak dihindari.

$$\text{COP}_{\text{Ideal}} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \dots\dots\dots 2.5$$

Efisiensi Mesin Alat Praktikum Pendingin Udara

Besarnya nilai efisiensi mesin alat praktikum dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{COP_{Aktual}}{COP_{Ideal}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.6$$

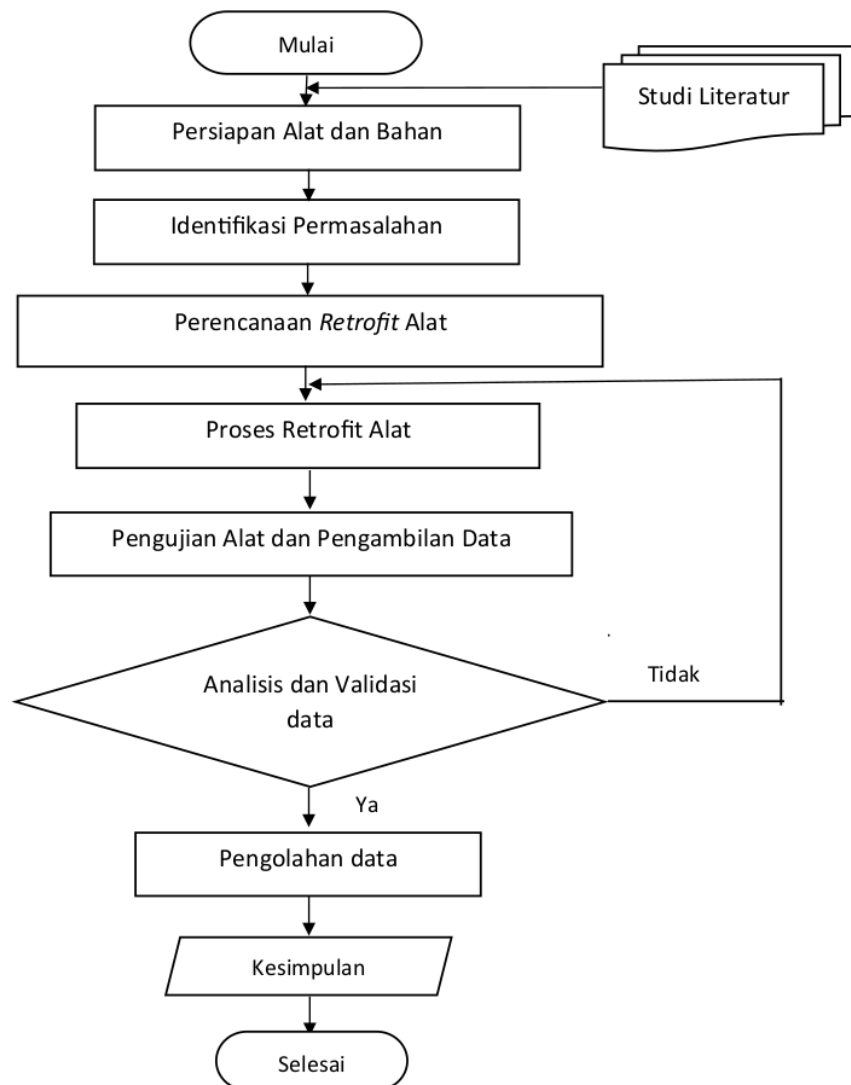
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode penelitian yang di gunakan oleh penulis adalah metode eksperimen. Metode eksperimen yang digunakan memahami dan menjelaskan fenomena siklus refrigerasi dengan menggunakan pengaturan variabel kecepatan, mengumpulkan data secara sistematis, dan menganalisis data tersebut untuk menguji hipotesis untuk mendapatkan kesimpulan yang valid. Metode ini melibatkan penggunaan variabel yang dikendalikan (variabel independen) dan variabel yang diamati (variabel dependen) dalam suatu eksperimen.

Terdapat tiga macam variabel yang penulis gunakan pada penelitian ini, yang pertama yaitu adalah variabel bebas. Variabel bebas pada penelitian ini adalah kecepatan putaran kipas pada kondensor. Kemudian yang kedua adalah variabel terikat, yang dimana variabel terikat pada penelitian ini adalah hasil unjuk kerja alat praktikum pendingin udara variabel yang diamati atau diukur sebagai respons terhadap perubahan variabel independen. Unjuk kerja ini mungkin melibatkan parameter seperti efisiensi pendinginan, temperatur keluaran evaporator, temperatur keluaran kondensor, atau parameter lain yang relevan yang mengukur kinerja alat penelitian. Dan yang terakhir adalah variabel kontrol, yang dimana variabel kontrol pada penelitian ini adalah seperti suhu lingkungan, tekanan, atau faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi hasil eksperimen. Variabel kontrol ini dijaga tetap atau dikendalikan untuk memastikan bahwa perubahan yang diamati disebabkan oleh perubahan variabel independen, bukan faktor eksternal. Berikut ini merupakan diagram alir yang dibuat pada penelitian ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir

Sumber : Dokumen Pribadi

3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan dari diagram alir yang sudah di buat diatas dalam sub bab ini, akan dibahas mengenai prosedur penelitian yang dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh kecepatan putaran fan pada kondensor terhadap

unjuk kerja alat praktikum pendingin udara. Penelitian ini bertujuan untuk memahami secara mendalam bagaimana variabel ini berinteraksi dan memengaruhi efisiensi sistem pendingin. Melalui tahapan-tahapan yang akan dilakukan di bawah ini, semoga dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam upaya mencapai sistem pendingin udara yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Dengan demikian, berikut pemahaman yang lebih mendalam tentang prosedur penelitian yang akan dilakukan.

3.2.1 Studi Literatur

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan studi literatur untuk memahami teori dan pengetahuan yang ada mengenai sistem pendingin udara, pengaruh kecepatan putaran fan, dan unjuk kerja alat praktikum pendingin udara. Dengan melakukan studi literatur ini diharapkan dapat membuat penelitian ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan teori teori yang ada. Sehingga validasi dan hasil data yang di dapat pada penelitian memiliki acuan yang sesuai.

3.2.2 Persiapan Alat dan Bahan

3.2.1.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan sebagai penunjang dalam penelitian ini. Berikut adalah beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini.

1. Alat Uji Mesin Pengkondisi Udara

Alat uji mesin pendingin udara ini merupakan tempat dimana berlangsungnya sistem refrigerasi berjalan. Pengujian dan pengambilan data akan berlangsung pada alat ini.

Gambar 3.2 Alat Uji Mesin Pendingin Udara

Spesifikasi Alat

Kompresor : R-32 1PK
 Evaporator : Ukuran 28 cm x 30 cm x 10 cm
 Kondensor : Ukuran 28 cm x 30 cm x 10 cm
Fan : 12 inc, Model 40AAS 220V 50Hz
 Ruang Pendingin: Ukuran 80 cm x 80 cm x 80 cm

2. Unit kontroller

Unit kontroller berfungsi untuk mengontrol semua sistem yang ada pada penelitian alat uji sistem refrigerasi seperti mengatur kecepatan putaran *fan* dengan memutar dimmer, kemudian menyalakan dan mematikan sistem refrigerasi dengan menekan tombol start/stop. Kemudian untuk kecepatan putaran pada *fan* dapat kita lihat pada *display* rpm yang ada pada kontroller, *display* ini terhubung langsung dengan sensor kecepatan.



Gambar 3.3 Unit Kontroller

Spesifikasi:

Dimmer : 2000W Motor Speed Controller 220V AC PWM

Regulator

Tachometer Sensor Digital : Working Power Supply 24V,
 4A

Push Button : Tombol EWIG Start (NO), Stop (NC)

Power Monitor Daya Digital Multifungsi: 20A 100A AC

110 220V Watt meter, Volt meter, Amper meter

3. *Stopwatch*

Pada penelitian ini *stopwatch* berfungsi untuk mengukur waktu seberapa lama alat dapat mencapai suhu yang diinginkan.



Gambar 3.4 *Stopwatch*

4. Tang amper

Pada penelitian ini tang ampere berfungsi untuk mengukur arus yang ada pada kompressor.



Gambar 3.5 Tang amper

5. Manifold gauge

Pada penelitian ini manifold gauge berfungsi untuk perantara pengisian refrigerant ke dalam alat pengujian.



Gambar 3.6 Manifold Gauge

6. LabJack

Pada penelitian ini LabJack berfungsi untuk mengukur temperatur pada setiap bagian sistem refrigerasi yaitu T1, T2, T3 dan T4.

Gambar 3.7 LabJack T7 Pro

7. Anemo meter

Pada penelitian ini Anemo meter berfungsi untuk mengukur kecepatan laju aliran udara pada alat pengujian.



Gambar 3.8 Anemo meter

8. Pressure Gauge

Pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan fluida (cairan atau gas) dalam suatu sistem tertutup. Fungsi utama dari pressure gauge adalah untuk memberikan informasi atau indikasi mengenai tekanan yang ada pada suatu sistem.

9. Thermometer Air raksa

Thermometer air raksa berfungsi sebagai alat ukur temperature bola basah dengancara mengikat kain di ujung thermometer dan membasahnya dengan air.

10.

3.2.1.2 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat Bahan yang digunakan sebagai penunjang dalam penelitian ini. Berikut adalah bahan yang digunakan pada penelitian ini.

1. Refrigerant R32

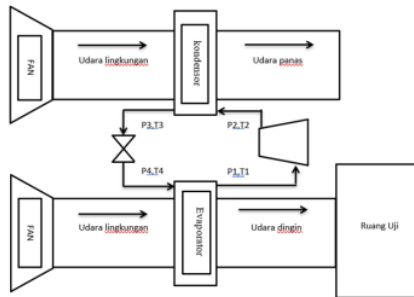
Pada penelitian ini refrigerant berfungsi sebagai substansi kimia yang digunakan dalam sistem pendingin dan sistem tata udara (AC) untuk mentransfer panas dari satu tempat ke tempat lainnya.



Gambar 3.9 Refrigerant R-32

3.2.3 Mengidentifikasi masalah yang terdapat pada alat.

Identifikasi masalah pada alat praktikum pendingin udara yang akan diteliti dilakukan untuk mengetahui apakah ada masalah dalam unjuk kerja yang perlu diperbaiki atau dioptimalkan, dan berikut merupakan gambaran skema alat sistem pendingin udara yang akan diteliti.



Gambar 3.10 Skema Alat Penelitian

Pada alat yang diteliti terdapat beberapa identifikasi masalah yang di temukan diantaranya adalah:

- Pipa pipa kapiler yang tersumbat dan juga bocor
- Kotornya sirkulasi udara pada evaporator dan kondensor sehingga mengurangi efektifitas kinerja sistem pendingin
- Kompresor yang sudah cukup tua sehingga perlu di perbarui
- Refrigerant yang kurang sehingga mengakibatkan terganggunya sistem pendinginan udara
- Beberapa bagian sirkulasi udara mengalami kebocoran.

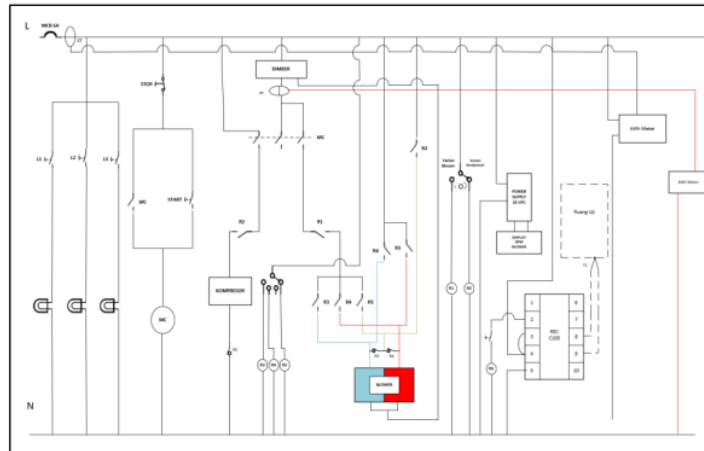


Gambar 3.11 Gambar identifikasi masalah pada alat uji

3.2.4 Membuat Perencanaan Retrofit Alat

Merencanakan perubahan atau retrofit yang akan dilakukan pada alat praktikum pendingin udara. Ini termasuk perubahan dalam kecepatan putaran fan pada evaporator dan kondensor. Dengan begitu diperlukannya perancangan diagram wiring yang dimana diperlukan untuk membuat control panel untuk mengatur kerja *fan*.

Berikut merupakan gambar diagram wiring yang sudah di rencanakan.



Gambar 3.12 Diagram Wiring kontroler

Kemudian selain pembuatan kontroller pada alat uji, perencanaan retrofit yang akan di lakukan yaitu penggantian seluruh pipa kapiler terutama pada bagian yang bocor, kemudian perbaikan bagian sirkulasi udara dengan penambahan *duckting* dan merapihkan sirkulasi yang masih bocor, dan juga pembaharuan kompresor yang dimana sebelumnya menggunakan kompresor R-22 di ganti dengan kompresor R-32.

3.2.5 Proses Retrofit Alat

Melaksanakan perubahan yang telah direncanakan pada alat praktikum, termasuk membuat kontrol untuk mengatur kecepatan putaran *fan* pada kondensor sesuai dengan perencanaan. Mengganti pipa-pipa kapiler yang ada pada sistem dengan pipa-pipa baru guna meningkatkan efektifitas kerja sistem refrigerasi. Perbaikan sirkulasi udara pada alat, mulai dari perbaikan bagian bagian yang bocor dan membersihkan kondensor dan evaporator, penambahan *duckting* untuk tempat udara bersirkulasi. Dan terakhir melakukan pembaharuan kompresor dengan mengganti kompresor yang lama (Kompresor R-22) dengan kompresor yang baru (Kompresor R-32).

3.2.6 Pengujian dan pengambilan data Alat pengujian

Terdapat Prosedur pengujian untuk pengambilan data pada penelitian ini, agar dapat berjalan dengan baik, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan Alat dan Bahan untuk pengujian
2. Menyalakan mesin pendingin udara
3. Diamkan terlebih dahulu mesin beroperasi selama 10 menit untuk membuat kondisi mesin stabil dan dengan keadaan ruang pengujian terbuka.
4. Setelah mesin sudah stabil, kemudian atur kecepatan *fan* sesuai dengan yang sudah di tentukan dan pintu ruang pengujian ditutup untuk pengambilan data dapat dimulai setelah kondisi alat sudah stabil.
5. Menyalakan *stopwatch* pada saat pengambilan data di mulai untuk menghitung waktu perubahan suhu.
6. Mengamati dan mencatat perubahan temperatur T_1, T_2, T_3, T_4 .
7. Mengamati dan mencatat perubahan tekanan P_1, P_2, P_3, P_4 .
8. Mencatat Waktu dan data yang dibutuhkan setiap 5 menit (T_1, T_2, T_3, T_4 (Udara), $T_1, T_2, T_3, T_4, P_1, P_2, P_3, P_4$ (Refrigeran) hingga mesin beroperasi selama 5 menit.
9. Mengulangi percobaan dengan kecepatan *fan* yang berbeda.

3.2.7 Analisis Data dan Validasi Data

Melakukan analisis data yang telah dikumpulkan untuk memeriksa kebenaran dan keakuratan data. Ini juga melibatkan pemeriksaan apakah hasil eksperimen konsisten dengan teori yang ada. Pada tahap ini jika terdapat ketidak sesuaian pada data yang di dapat dengan teori yang seharusnya maka diperlukannya identifikasi ulang apakah terdapat kesalahan yang terjadi pada alat yang diteliti. Jika data yang di dapat sudah sesuai dan valid maka dapat di lanjutkan untuk melakukan pengolahan data.

3.2.8 Pengolahan Data

Pada tahap ini peneliti akan melakukan pengolahan data untuk menghitung parameter-parameter pada sistem pendingin udara seperti koefisien prestasi (COP) dan menganalisis bagaimana kecepatan putaran fan memengaruhi unjuk kerja alat praktikum pendingin udara.

3.2.9 Kesimpulan

Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data yang didapat dari percobaan variasi kecepatan putaran *fan* pada kondensor. Apakah pengaruh kecepatan putaran fan pada kondensor memberikan peningkatan unjuk kerja alat praktikum atau tidak. Dan menjawab dari tujuan yang sudah dibuat untuk penelitian ini.

3.3. Waktu dan Tempat pelaksanaan Penelitian

Penelitian untuk alat refrigerasi ini berlangsung selama 3 bulan yang terhitung setelah seminar proposal dilaksanakan. Pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratotium konversi energi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengujian

Pada pengujian yang di lakukan pada alat praktikum sistem pendingin udara yang menggunakan kompresor AC 1 PK dengan menggunakan refrigerant R32 dengan tekanan 100 psi ini, dibagi menjadi beberapa variasi kecepatan putaran *fan* yaitu 1000rpm, 1100rpm, 1200rpm, 1300rpm dan 1400rpm yang di atur pada *control panel* untuk mengkondisikan suhu udara yang ada di dalam ruang pengujian. Kemudian dapat dilihat data yang di dapat pada proses pengambilan data pengujian ini pada table 4.1 yang akan di lampirkan berikut ini.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian

No.	Putaran Fan (rpm) pada kondensor	Tegangan (V)	Arus (I)	Waktu (t) Menit	Suhu Ruang °C	Aliran Udara								Aliran Refrigerant							
						Masuk Evap		Keluar Evap		Masuk Konden		Keluar Konden		Keluar Evap		Masuk Konden		Keluar Konden		Masuk Evap	
						tsk (°C)	tbb (°C)	tsk (°C)	tbb (°C)	tsk (°C)	tbb (°C)	tsk (°C)	tbb (°C)	P1	T1	P2	T2	P3	T3	P4	T4
1	1000	220V	4,89 A	1	20	25	21	21	15	30	26	66,3	36	120	18	580	114	575	67	122,0	4,2
				2	20	25	21	21	15	30	26	66	36	120	18,3	578	115	575	66,2	124,0	4,0
				3	20,5	25	21	21	15	30	26	66	35	120	18,4	580	114,4	575	66,5	124,0	6,0
				Rata-rata	20,2	25,0	21,0	21,0	17,5	30,0	26,0	66,1	35,7	120,0	18,2	579,3	114,5	575,0	66,6	123,3	4,7
2	1100	220V	4,66 A	1	20	25	19,5	20	16	30	26	64	35	116	18	550	105	540	65,5	122,0	3,2
				2	20	25,5	19	21	16	30	26	64	35	114	17	550	104	540	65	122,0	4,0
				3	19	25	19,5	19,8	16	30	26	65	34	118	17,5	550	104	540	65	122,0	3,0
				Rata-rata	19,7	25,2	19,3	20,3	16,0	30,0	26,0	64,3	34,7	116,0	17,5	550,0	104,3	540,0	65,2	122,0	3,4
3	1200	225V	4,52 A	1	19,5	26	20	20	17	30	26	66	34	114	16,7	560	105	550	63	120,0	4,8
				2	19	26	20	20,5	17,5	30	26	64	34	115	17	562	103	550	63,4	118,0	3,0
				3	19	26,7	19,5	20	17	30	26	64	34	114	17,3	558	104,5	550	62,8	120,0	3,0
				Rata-rata	19,2	26,2	19,8	20,2	17,2	30,0	26,0	64,7	34,0	114,3	17,0	560,0	104,2	550,0	63,1	119,3	3,6
4	1300	223 V	4,4 A	1	19	25	18	19	14	30	26	56	33	108	16	500	97,8	490	61	114,0	0,1
				2	18,5	25,3	18	19	15	30	26	56	33	108	16,5	502	98,2	492	61,3	114,0	1,0
				3	18,5	25	18	18,6	14,5	30	26	55	33,5	108	16	502	99	490	61	115,0	1,0
				Rata-rata	18,7	25,1	18,0	18,9	14,5	30,0	26,0	55,7	33,2	108,0	16,6	501,3	98,3	490,7	61,1	114,3	0,7
5	1400	231 V	4,24 A	1	18	24	18	18	14	30	26	55,2	33	106	10	495	95	485	52,8	111,0	0,3
				2	17	24	18,5	18	14	30	26	55	32	108	12	492	94	488	52,5	110,0	0,8
				3	17	24	18	17,7	14,5	30	26	55	33	106	12,5	494	96	484	53	110,0	1,0
				Rata-rata	17,3	24,0	18,2	17,9	14,2	30,0	26,0	55,1	32,7	106,7	12,0	493,7	95,0	485,7	52,8	110,3	0,2

4.2. Analisa Data

4.2.1. Data Enthalpy

Untuk memasuki tahapan perhitungan unjuk kerja pada alat pengujian ini diperlukannya mencari terlebih dahulu besar nilai

enthalpy pada setiap kondisi yang diperlukan seperti h_1 (besar nilai *enthalpy* sebelum memasuki kompresor), h_2 (besar nilai *enthalpy* sebelum memasuki kondensor), h_3 (besar nilai *enthalpy* setelah melewati kondensor) dan terakhir h_4 (besar nilai *enthalpy* sebelum memasuki evaporator). Berikut ini merupakan contoh pengambilan data nilai *enthalpy* pada alat pengujian yang dimana spesifikasi kompresor ac yang digunakan adalah 1 PK dan menggunakan refrigerant R32 pada putaran 1400 rpm dengan suhu pada ruangan yaitu sebesar 17°C yang dimana nilai *enthalpy* ini di dapatkan dari aplikasi *software* sistem refrigerasi “Cool Selector 2”.

Tabel 4.2 Data Nilai *Enthalpy* refrigerant R32

Putaran Fan (rpm) pada kondensor	R-32			
	<i>Enthalpy refrigerant</i> (kJ/kg)			
	h_1	h_2	h_3	h_4
1000	535,5	594,4	316,2	316,2
1100	532	583	314	314
1200	534	583	311	311
1300	530,9	579,1	303,7	303,7
1400	531,9	575	301,8	301,8

4.2.2. Perhitungan Unjuk Kerja Alat Pengujian

Perhitungan kalor yang diserap evaporator (q_e)

Kalor ,yang dapat di serap oleh evaporator dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2.x yang dimana untuk rumus $q_e = \dot{m} \text{ ref}$.

$(h_1 - h_4)$ kJ/s. Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan kalor yang diserap oleh evaporator (q_e) pada kecepatan putaran *fan* 1400rpm.

$$\begin{aligned} q_e &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_1 - h_4) \text{ kJ/s} \\ &= 0,0147 \cdot (537 - 497) \\ &= 3,3 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas kemudian dilakukan perhitungan terhadap variabel kecepatan putaran *fan* lainnya, sehingga didapatkan data untuk penyerapan kalor masuk melalui refrigerant pada evaporator (q_e) sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan perpindahan kalor pada evaporator (q_e)

Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	q in evaporasi (kJ/s)
1000	2,14
1100	2,38
1200	2,44
1300	2,51
1400	2,76

Perhitungan kalor yang di lepas kondensor (q_c)

Kalor yang dapat di lepas oleh kondensor dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (2.x). Yang dimana untuk rumus pelepasan kalor pada kondensor adalah $q_c = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_2 - h_3)$ kJ/s.

Berikut merupakan contoh perhitungan pelepasan kalor pada kondensor ketika kecepatan putaran *fan* sebesar 1400rpm.

$$\begin{aligned} q_c &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_2 - h_3) \text{ kJ/s} \\ &= 0,0147 \cdot (568 - 305,1) \\ &= 3,9 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas kemudian di lakukan perhitungan pelepasan kalor pada kondensor dengan variasi kecepatan putaran *fan* yang berbeda. Berikut merupakan hasil dari seluruh perhitungan pelepasan kalor pada kondensor.

Tabel 4.4 Data hasil perhitungan perpindahan kalor pada kondensor (q_k)

Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	q out kondensasi (kJ/s)
1000	2,72
1100	2,94
1200	2,97
1300	3,04
1400	3,27

Perhitungan kerja kompresor (W_{in})

Untuk mengetahui besar kerja kompresor dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (2.x), yang Dimana rumusnya adalah $W_{in} = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_2 - h_1) \text{ kJ/s}$. Berikut merupakan contoh perhitungan kerja kompresor (W_{in}) pada variasi kecepatan putaran *fan* 1400rpm.

$$\begin{aligned}
 W_{in} &= \dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_1) \text{ kJ/s} \\
 &= 0,0147 \cdot (568 - 530,4) \\
 &= 0,55 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan diatas, kemudia melakukan perhitungan pada variabel kecepatan putaran *fan* lainnya, dan berikut merupakan data hasil perhitungan kerja kompresor pada penelitian ini.

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan kerja kompresor (W_{in})

Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	W_{in} (kJ/s)
1000	0,58
1100	0,56
1200	0,54
1300	0,53
1400	0,52

Perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Aktual

Untuk mengetahui besar nilai *Coefisien of Performance* (COP) Aktual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.x) yang dimana rumus untuk mencari nilai tersebut adalah $(h_1 - h_4)/(h_2 - h_1)$. Berikut merupakan contoh perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Aktual pada variasi kecepatan putaran *fan* 1400 rpm.

$$\begin{aligned}
 COP_{Aktual} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\
 &= \frac{531,9 - 301,8}{575 - 531,9}
 \end{aligned}$$

$$= 5,34$$

Setelah melakukan perhitungan diatas, kemudia melakukan perhitungan pada variabel kecepatan putaran *fan* lainnya, dan berikut merupakan data hasil perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Aktual pada penelitian ini.

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Aktual

Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	COP aktual
1000	3,72
1100	4,27
1200	4,55
1300	4,71
1400	5,34

Perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Ideal

Untuk mengetahui besar nilai *Coefisien of Performance* (COP) Ideal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.x) yang dimana rumus untuk mencari nilai tersebut adalah $T_{\text{evaporator}} / (T_{\text{kondensor}} - T_{\text{evaporator}})$. Berikut merupakan contoh perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Aktual pada variasi kecepatan putaran *fan* 1400 rpm.

$$\text{COP}_{\text{Aktual}} = \frac{T_{\text{evaporator}}}{T_{\text{kondensor}} - T_{\text{evaporator}}}$$

$$= \frac{9,3}{52,9-12}$$

$$= 7,0$$

Setelah melakukan perhitungan diatas, kemudia melakukan perhitungan pada variabel kecepatan putaran *fan* lainnya, dan berikut merupakan data hasil perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Ideal pada penelitian ini.

Tabel 4.7 Data hasil perhitungan *Coefisien of Performance* (COP) Ideal

Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	COP ideal
1000	6,0
1100	6,1
1200	6,3
1300	6,5
1400	7,0

Perhitungan efisiensi $\eta(\%)$

Untuk mengetahui besar nilai efisiensi $\eta(\%)$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.x) yang dimana rumus untuk mencari nilai tersebut adalah COP_{Aktual}/COP_{Ideal} . Berikut merupakan contoh perhitungan efisiensi $\eta(\%)$ pada variasi kecepatan putaran *fan* 1400 rpm.

$$COP_{Aktual} = \frac{COP_{Aktual}}{COP_{Ideal}}$$

$$= \frac{7,0}{5,34}$$

$$= 76,6\%$$

Setelah melakukan perhitungan diatas, kemudia melakukan perhitungan pada variabel kecepatan putaran *fan* lainnya, dan berikut merupakan data hasil perhitungan efisiensi $\eta(\%)$ pada penelitian ini.

Tabel 4.8 Data hasil perhitungan efisiensi $\eta(\%)$

Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	$\eta (\%)$
1000	61,8
1100	70,1
1200	72,3
1300	72,4
1400	76,4

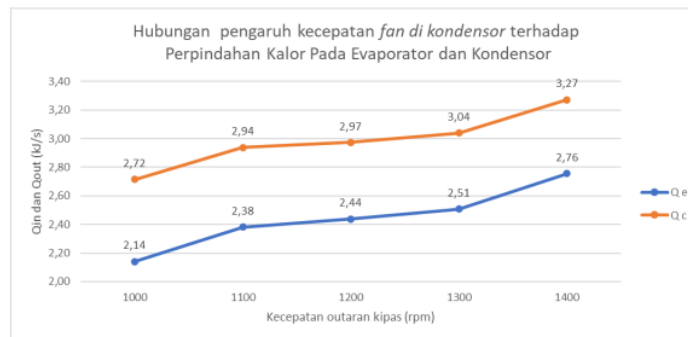
4.3. Pembahasan

Dari pengujian dan pengambilan data yang sudah dilakukan, dan dilanjut dengan melakukan perhitungan unjuk kerja pada penelitian ini dengan hasil data yang dapat dilihat pada tabel-tabel diatas. Kemudian dilakukan analisis pada grafik terhadap beberapa objek yang ada di bawah ini.

4.3.1. Grafik hubungan putaran *fan* pada kondensor dengan penyerapan kalor pada evaporator (q_e) dan pelepasan kalor kondensor (q_c)

Dari data yang sudah di dapat kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar nilai dari penyerapan kalor yang terjadi di evaporator, dapat dilihat grafik pengaruh dari variasi

putaran *fan* pada kondensor mempengaruhi nilai penyerapan kalor di evaporator dan pelepasan kalor di kondensor berikut ini.

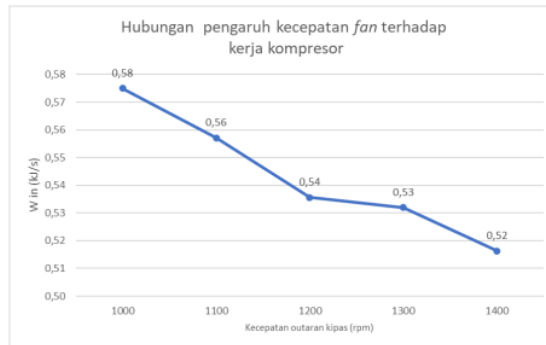


Gambar 4.2 Grafik pengaruh putaran *fan* pada kondensor terhadap Q_e dan Q_c

Pada gambar 4.2 dapat dilihat terdapat grafik dari pengaruh variasi putaran *fan* pada kondensor terhadap nilai penyerapan kalor pada evaporator dan pelepasan kalor pada kondensor. Dari grafik diatas dapat kita lihat bagaimana pengaruh dari variasi putaran *fan* mempengaruhi nilai Q_e dan Q_c , yang dimana nilai Q_c dan Q_e terbesar terjadi pada variasi putaran *fan* 1400rpm yang Dimana $Q_c=3,0$ kJ/s dan $Q_e=3,5$ kJ/s. Kemudian untuk nilai Q_c dan Q_e terkecil dialami pada saat variasi putaran fan 1000rpm yang dimana besar nilai $Q_c=2,7$ kJ/s dan besar nilai $Q_e=2,1$ kJ/s. dari hal tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin besar putaran *fan* pada kondensor maka semakin besar penyerapan dan pelepasan kalor yang terjadi pada evaporator dan kondensor.

4.3.2. Grafik hubungan putaran *fan* pada kondensor dengan kerja kompresor

Setelah dilakukannya perhitungan data yang sudah dilakukan kemudian di dapatkan hasil yaitu besar nilai kerja kompresor (W_{in}) dari beberapa variasi kecepatan putaran *fan* pada kondensor yang dapat dilihat pada grafik berikut ini.

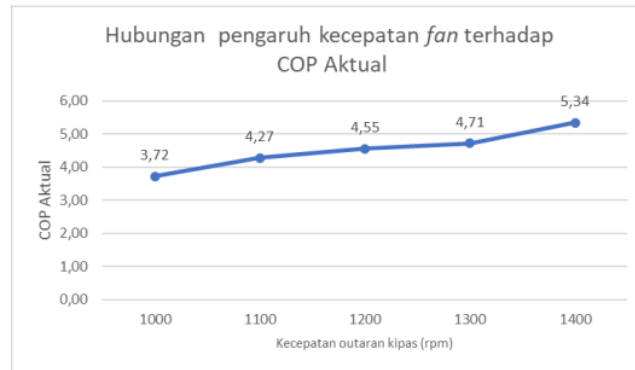


Gambar 4.1 Grafik pengaruh putaran *fan* pada kondensor terhadap Kerja kompresor (W_{in})

Pada gambar 4.1 dapat dilihat sebuah grafik yang berisi nilai kerja kompresor yang dipengaruhi oleh kecepatan putaran *fan* yang ada pada kondensor. Dari grafik tersebut kita dapat melihat bahwa kecepatan putaran *fan* pada kondensor dapat mempengaruhi kerja kompresor, yang dimana pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pada kecepatan putaran *fan* sebesar 1000 rpm mengalami besar kerja kompresor yang paling tinggi yaitu sebesar 0,58 kJ/s dan kemudian dengan semakin meningkatnya putaran *fan* besar nilai kerja kompresor mengalami penurunan yang dimana pada putaran *fan* sebesar 1400rpm, besar nilai kerja kompresor yaitu sebesar 0,52 kJ/s, yang dimana nilai kerja kompresor tersebut merupakan nilai kerja kompresor terkecil dari variabel kecepatan putaran *fan* sebelumnya.

4.3.3. Grafik hubungan putaran *fan* pada kondensor dengan COP_{actual}

Dari data yang sudah didapat kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar nilai dari *Coeffisien of performance* (COP) Aktual dari alat penelitian ini, dapat dilihat grafik pengaruh dari variasi putaran *fan* pada kondensor mempengaruhi *Coeffisien of performance* (COP) Aktual berikut ini.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh putaran *fan* pada kondensor terhadap COP_{aktual}
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Dapat dilihat pada gambar 4.3 yang dimana terdapat grafik pengaruh dari variasi putaran *fan* terhadap besar nilai COP_{aktual} dari alat penelitian ini. Pada grafik tersebut dapat dilihat semakin tinggi kecepatan putaran *fan* pada kondensor nilai COP_{aktual} mengalami kenaikan. Untuk nilai COP_{aktual} terkecil yaitu sebesar 4,18 yang dimana terjadi pada kecepatan putaran *fan* sebesar 1000rpm. Sedangkan untuk nilai COP_{aktual} terbesar yaitu 5,34 yang dimana terjadi pada saat kecepatan putaran *fan* sebesar 1400rpm. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa semakin cepat putaran *fan* pada kondensor maka semakin besar nilai COP_{aktual} -nya, yang berarti semakin baik jika nilai COP semakin besar karena, COP merupakan nilai prestasi kerja mesin itu sendiri.

4.3.4. Grafik hubungan putaran *fan* pada kondensor dengan COP_{Ideal}

Dari data yang sudah di dapat kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar nilai dari *Coefisien of performance* (COP) ideal dari alat penelitian ini, dapat dilihat grafik pengaruh dari variasi putaran *fan* pada kondensor mempengaruhi *Coefisien of performance* (COP) Ideal berikut ini.



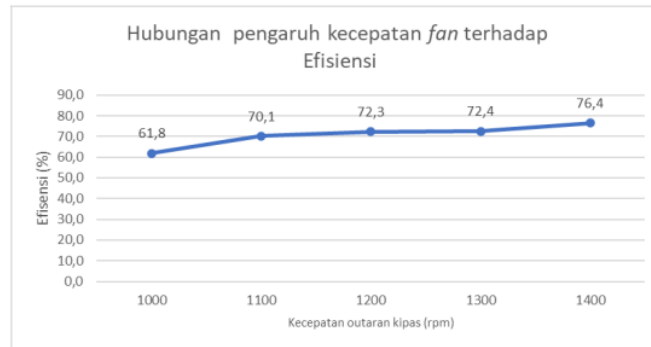
Gambar 4.4 Grafik pengaruh putaran *fan* pada kondensor terhadap COP_{ideal}

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Dapat dilihat pada gambar 4.4 yang dimana terdapat grafik pengaruh dari variasi putaran *fan* terhadap besar nilai COP_{aktual} dari alat penelitian ini. Pada grafik tersebut dapat dilihat semakin tinggi kecepatan putaran *fan* pada kondensor nilai COP_{aktual} mengalami kenaikan. Untuk nilai COP_{aktual} terkecil yaitu sebesar 6,0 yang dimana terjadi pada kecepatan putaran *fan* sebesar 1000rpm. Sedangkan untuk nilai COP_{aktual} terbesar yaitu 7,0 yang dimana terjadi pada saat kecepatan putaran *fan* sebesar 1400rpm. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa semakin cepat putaran *fan* pada kondensor maka semakin besar nilai COP_{aktual} -nya, yang berarti semakin baik jika jika nilai COP semakin besar karena, COP merupakan nilai prestasi kerja mesin itu sendiri.

4.3.5. Grafik hubungan putaran *fan* pada kondensor dengan efisiensi

Dari data yang sudah di dapat kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar nilai dari *efisiensi* pada alat penelitian ini, dapat dilihat grafik pengaruh dari variasi putaran *fan* pada kondensor mempengaruhi *efisiensi* kerja alat berikut ini.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh putaran *fan* pada kondensor terhadap Efisiensi kerja alat
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dapat dilihat pada gambar 4.5 yang dimana terdapat grafik pengaruh dari variasi putaran *fan* terhadap besar nilai efisiensi dari alat penelitian ini. Pada grafik tersebut dapat dilihat semakin tinggi kecepatan putaran *fan* pada kondensor nilai efisiensi mengalami kenaikan. Untuk nilai efisiensi terkecil yaitu sebesar 69,2% yang dimana terjadi pada kecepatan putaraan *fan* sebesar 1000rpm. Sedangkan untuk nilai efisiensi terbesar yaitu 76,6% yang dimana terjadi pada saat kecepatan putaran *fan* sebesar 1400rpm. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa semakin cepat putaran *fan* pada kondensor maka semakin besar nilai efisiensi-nya, yang berarti semakin baik jika nilai efisiensi semakin besar karena, nilai efisiensi merupakan nilai seberapa efisien kerja mesin itu sendiri.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pengolahan data yang sudah dilakukan sebelumnya, guna menjawab tujuan dari penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut ini.

1. Dari hasil penelitian eksperimen memvariasikan kecepatan putaran *fan* pada kondesor, sehingga laju aliran udara yang masuk kondesor mempengaruhi unjuk kerja alat yang digunakan pada penelitian ini. Dari hasil analisis data dan perhitungan yang sudah dilakukan semakin besa kecepatan putaran *fan* maka semakin baik nilai unjuk kerja alat penelitian ini. Pada kecepatan putaran *fan* terendah yaitu 1000rpm besar nilai unjuk kerja untuk $W_{in} = 0,58 \text{ kJ/s}$, $Q_e = 2,14 \text{ kJ/s}$. $Q_c = 2,72 \text{ kJ/s}$. Kemudian untuk nilai unjuk kerja pada variasi kecepatan putaran *fan* terbesar yaitu 1400rpm yang dimana besar nilai unjuk kerja nya yaitu $W_{in} = 0,52 \text{ kJ/s}$, $Q_e = 2,76 \text{ kJ/s}$ dan $Q_c = 3,27 \text{ kJ/s}$. Dari hasil data tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin besar kecepatan putaran *fan* maka semakin kecil kerja kompresor (W_{in}) yang diperlukan, semakin banyak kalor yang dapat diserap oleh evaporator (Q_e) dan semakin banyak kalor yang dilepas kondensor (Q_c).
2. Pada saat kecepatan putaran fan 1000rpm hingga kecepatan 1400rpm besar nilai *Coefisien of performance* (COP) ideal ataupun aktual mengalami peningkatan, yang dimana pada kecepatan 1000rpm besan nilai $COP_{aktual} = 3,72$ dan $COP_{ideal} = 6,0$ dan pada kecepatan 1400rpm besar nilai $COP_{aktual} = 5,34$ dan $COP_{ideal} = 7,0$. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan putaran fan maka semakin baik performa kerja mesin, dikarenakan COP merupakan besaran nilai untuk performa kerja suatu mesin refrigerasi. Hal tersebutpun dapat terjadi karena semakin baik nilai unjuk kerja suatu mesin sistem refrigerasi maka semakin baik performa dari kerja mesin tersebut.

3. Pengaruh laju aliran masuk kondensor terhadap efisiensi kerja pada alat penelitian ini dapat kita ketahui dari hasil analisis dan perhitungan yang sudah dilakukan dengan memvariasikan kecepatan putaran *fan* dari 1000rpm hingga 1400rpm didapatkan efisiensi mengalami peningkatan secara terus menerus. Pada saat kecepatan di atur 1000rpm efisiensi kerja alat yaitu sebesar 61,8% dan ketika kecepatan putaran *fan* di atur hingga 1400rpm efisiensi kerja alat mencapai 76,4%. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan laju aliran udara yang masuk ke kondensor maka semakin efisien alat tersebut dapat bekerja.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk menunjang penelitian mengenai pengaruh kecepatan putaran *fan* terhadap unjuk kerja alat sistem refrigerasi. Berikut merupakan saran-saran yang dapat diberikan.

1. Sebaiknya mengganti kompresor AC dengan kompresor yang baru, agar performa alat semakin meningkat.
2. Menggunakan thermocouple atau alat pembaca suhu yang lebih bagus, agar data yang di dapatkan lebih presisi.
3. Proses pengambilan data lebih baik diambil dalam satu waktu misalnya di siang hari, agar hasil data yang didapat sesuai dan mendapatkan perlakuan yang sama.
4. Memastikan freon atau refrigerant yang ada pada alat tidak kurang atau terisi sesuai standar idealnya, untuk alat pengujian ini pengisian idealnya yaitu 100 psi.

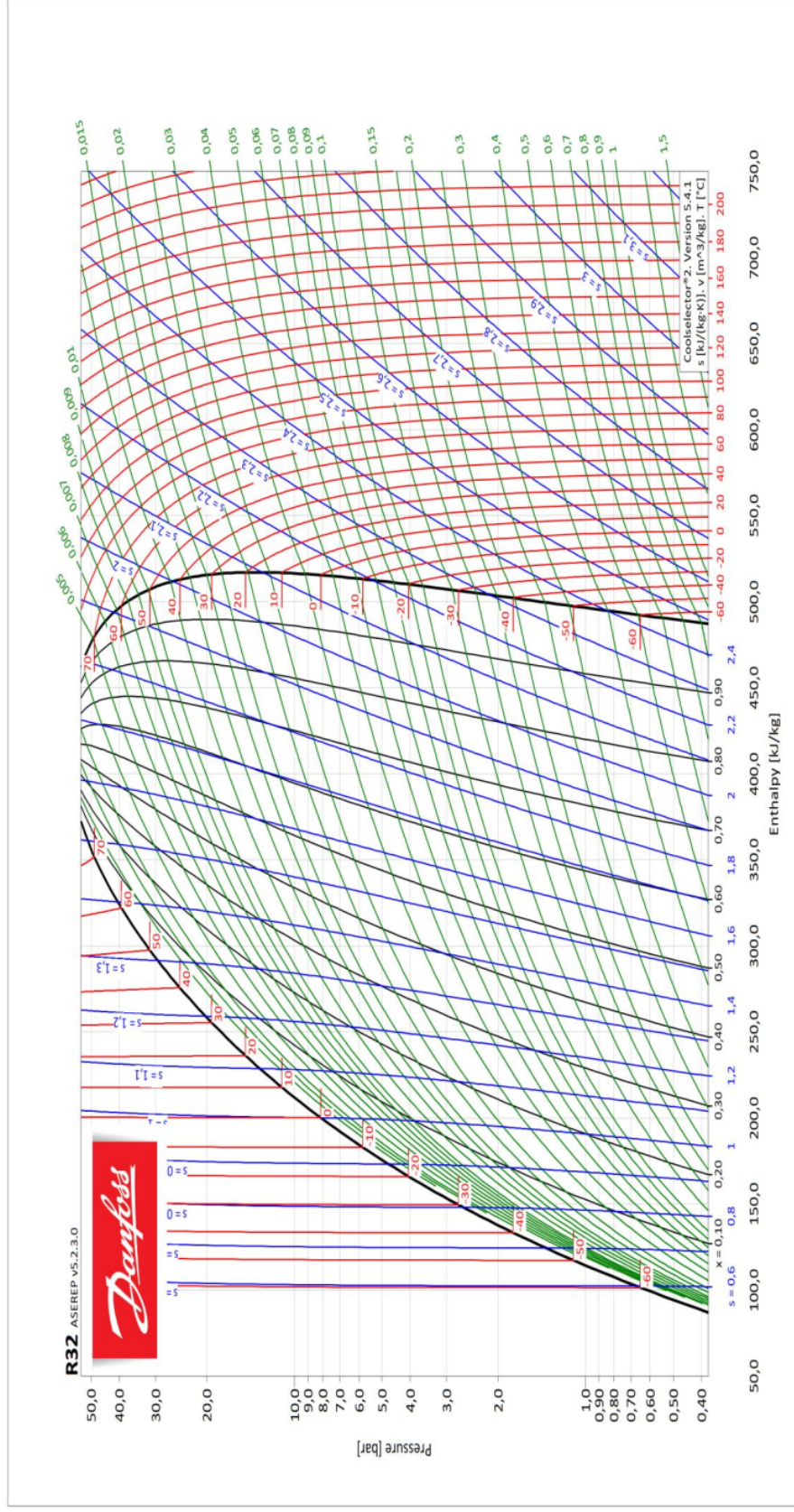
DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Jibril, Pandu Adi Cakranegara, Raudya Setya Wismoko Putri, and Cut Susan Octiva. 2022. "Analisis Efisiensi Kerja Kompresor Pada Mesin Refrigerasi Di PT. XYZ." *Jurnal Mesin Nusantara* 5(1): 86–95. <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/JMN/article/view/17741>.
- Almaududi, M. 2020. "Pengaruh Laju Aliran Udara Masuk Evaporator Terhadap Kapasitas Pendinginan (Coefficient Of Performance) Dan Kelembapan Udara Pada Sistem Refrigerasi Air Condition." *Edu Elektriika Journal* 9(1).
- Bagus Suryasa Majanasastra, R. 2015. 3 Jurnal Imiah Teknik Mesin *Analisis Kinerja Mesin Pendingin Kompresi Uap Menggunakan FE-36*. <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>.
- Datta, S. P., P. K. Das, and S. Mukhopadhyay. 2014. "Obstructed Airflow through the Condenser of an Automotive Air Conditioner - Effects on the Condenser and the Overall Performance of the System." *Applied Thermal Engineering* 70(1): 925–34.
- Ilmiah, Majalah, and Sstr Cepu. 2015. 9 Tahun *Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Putaran Fan Kondensor Terhadap Laju Pendinginan Mesin AC Split 1 PK*. Januari-Juni.
- Irawati, E, C Huda, and W Kurniawan. 2019. *Pengembangan Alat Peraga Perpindahan Kalor Secara Konduksi, Konveksi, Dan Radiasi Dalam Satu Set Alat Berbasis Digital*.
- Lee, Won Jong, and Ji Hwan Jeong. 2016. "Variations Des Performances de Transfert de Chaleur de Condenseurs Dues à La Non Uniformité de La Vitesse de l'air." *International Journal of Refrigeration* 69: 85–95.
- Moran, Michael J, Howard N Shapiro, Daisie D Boettner, and Margaret B Bailey. *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS Eighth Edition*. www.wiley.com/college/moran.

- Poernomo, Heroe. 2015. 12 KAPAL *ANALISIS KARAKTERISTIK UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONING) YANG MENGGUNAKAN FREON R-22 BERDASARKAN PADA VARIASI PUTARAN KIPAS PENDINGIN KONDENSOR.* Surabaya.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/kapal/article/view/8175/6895>
 (September 1, 2023).
- Prayogi, Urip, and Nasyith Al Huda. 2022. *ALTERNATIF REFRIGERAN PENGANTI R22 UNTUK PENDINGIN RUANGAN BERDASARKAN KERAMAHAN LINGKUNGAN.* Surabaya.
- Rabbani, Said et al. 2021. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta *Kinerja Evaporator Dengan Pengaturan Laju Aliran Udara.*
<http://prosiding.pnj.ac.id>.
- Ramli Rasyid, A, and Djuanda, A Muhsin Z. 2017. "Analisis Unjuk Kerja (COP) Mesin Pendingin Hibrid Dengan Menggunakan Refrigeran R-22."
- Siagin, Saut. 2015. "ANALISIS KARAKTERISTIK UNJUK KERJA KONDENSOR PADA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONING) YANG MENGGUNAKAN FREON R-134 a BERDASARKAN PADA VARIASI PUTARAN KIPAS PENDINGIN." *BINA TEKNIKA* 11: 124–30.

LAMPIRAN

Lampiran 1 P-h Diagram R32



Lampiran 2

Data Keseluruhan Penelitian

No.	Putaran <i>Fan</i> (rpm) pada kondensor	Tegangan (V)	Arus (I)	Waktu (t) Menit	Suhu Ruangan °C	Aliran Udara						Aliran Refrigerant										
						Masuk Evap		Keluar Evap		Masuk Konden		Keluar		Masuk Konden		Keluar		Masuk Evap		Keluar		
						tbk (°C)	tbb (°C)	tbk (°C)	tbb (°C)	tbk (°C)	tbb (°C)	tbk (°C)	tbb (°C)	P1	T1	P2	T2	P3	T3	P4	T4	
1	1000	220V	4,89 A	1	20	25	21	21	15	30	26	66,3	36	120	18	580	114	575	67	122,0	4,2	4,2
				2	20	25	21	21	15	30	26	66	36	120	18,3	578	115	575	66,2	124,0	4,0	4,0
				3	20,5	25	21	21	15	30	26	66	35	120	18,4	580	114,4	575	66,5	124,0	6,0	6,0
				Rata-rata	20,2	25,0	21,0	21,0	17,5	30,0	26,0	66,1	35,7	120,0	18,2	579,3	114,5	575,0	66,6	123,3	4,7	4,7
2	1100	220V	4,66 A	1	20	25	19,5	20	16	30	26	64	35	116	18	550	105	540	65,5	122,0	3,2	3,2
				2	20	25,5	19	21	16	30	26	64	35	114	17	550	104	540	65	122,0	4,0	4,0
				3	19	25	19,5	19,8	16	30	26	65	34	118	17,5	550	104	540	65	122,0	3,0	3,0
				Rata-rata	19,7	25,2	19,3	20,3	16,0	30,0	26,0	64,3	34,7	116,0	17,5	550,0	104,3	540,0	65,2	122,0	3,4	3,4
3	1200	225V	4,52 A	1	19,5	26	20	20	17	30	26	66	34	114	16,7	560	105	550	63	120,0	4,8	4,8
				2	19	26	20	20,5	17,5	30	26	64	34	115	17	562	103	550	63,4	118,0	3,0	3,0
				3	19	26,7	19,5	20	17	30	26	64	34	114	17,3	558	104,5	550	62,8	120,0	3,0	3,0
				Rata-rata	19,2	26,2	19,8	20,2	17,2	30,0	26,0	64,7	34,0	114,3	17,0	560,0	104,2	550,0	63,1	119,3	3,6	3,6
4	1300	223 V	4,4 A	1	19	25	18	19	14	30	26	56	33	108	16	500	97,8	490	61	114,0	0	0
				2	18,5	25,3	18	19	15	30	26	56	33	108	16,5	502	98,2	492	61,3	114,0	1,0	1,0
				3	18,5	25	18	18,6	14,5	30	26	55	33,5	108	16	502	99	490	61	115,0	1,0	1,0
				Rata-rata	18,7	25,1	18,0	18,9	14,5	30,0	26,0	55,7	33,2	108,0	16,6	501,3	98,3	490,7	61,1	114,3	0,7	0,7
5	1400	231 V	4,24 A	1	18	24	18	18	14	30	26	55,2	33	106	10	495	95	485	52,9	111,0	0	0
				2	17	24	18,5	18	14	30	26	55	32	108	12	492	94	488	52,5	110,0	-0,8	-0,8
				3	17	24	18	17,7	14,5	30	26	55	33	106	12,5	494	96	484	53	110,0	1,0	1,0
				Rata-rata	17,3	24,0	18,2	17,9	14,2	30,0	26,0	55,1	32,7	106,7	12,0	493,7	95	485,7	52,8	110,3	0,2	0,2

kecepatan udara (v) m/s	Massa Jenis Udara (ρ) kg/m	Laju aliran massa udara (ṁ) kg/s	Luas Penampang (A) m^2	Entalpi Udara kJ/kg		R-32				q _{udara} evap (kJ/s)	Laju Aliran Massa refrigeran (ṁ) kg/s	W _{in} (kJ/s)	q in evaporasi (kJ/s)	q out kondensasi (kJ/s)	COP		η (%)
				hin	hout	Enthalpy refrigerant (kJ/kg)									Aktual	Ideal	
						h ₁	h ₂	h ₃	h ₄								
1,6	1,2	0,173	0,09	60,9	48,5	535,5	594,4	316,2	316,2	2,1	0,0098	0,58	2,14	2,72	3,72	6,0	61,8
1,8	1,2	0,189	0,09	57,4	44,8	532	583	314	314	2,4	0,0109	0,56	2,38	2,94	4,27	6,1	70,1
1,9	1,2	0,200	0,09	55,0	42,8	534	583	311	311	2,4	0,0109	0,54	2,44	2,97	4,55	6,3	72,3
2,0	1,2	0,216	0,09	50,9	39,3	530,9	579,1	303,7	303,7	2,5	0,0110	0,53	2,51	3,04	4,71	6,5	72,4
2,2	1,2	0,238	0,09	50,8	39,2	531,9	575	301,8	301,8	2,8	0,0120	0,52	2,76	3,27	5,34	7,0	76,4

87. Pengaruh Kipas Kondensor Terhadap Kinerja Alat Laboratorium Pengkondisi Udara

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

repository.usd.ac.id

Internet Source

2%

2

id.123dok.com

Internet Source

1%

3

journal.unnes.ac.id

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

87. Pengaruh Kipas Kondensor Terhadap Kinerja Alat Laboratorium Pengkondisi Udara

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61
