

**ANALISIS *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* PADA PENAMBAHAN
KIPAS PENDINGIN KONDENSOR AC MOBIL DIESEL KAPASITAS 2400 cc**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Sarjana Teknik Mesin Universitas Islam Riau



Disusun Oleh:

DANIEL CHRISTENSEN LUBIS

213310105

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

2025

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS COEFFICIENT OF PERFORMANCE PADA PENAMBAHAN KIPAS PENDINGIN KONDENSOR AC MOBIL DIESEL KAPASITAS 2400 cc

Disusun Oleh:

Daniel Christensen Lubis

213310105

Disetujui Oleh:

Dr. Ir. EDDY ELFIANO, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing



Tanggal : 20 January 2026

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* PADA PENAMBAHAN KIPAS PENDINGIN KONDENSOR AC MOBIL DIESEL KAPASITAS 2400 cc

Disusun oleh:



Daniel Christensen Lubis
213310105

Disahkan Oleh:

MENGETAHUI

Ketua Program Studi Teknik Mesin

PEMBIMBING



Dr. DEDIKARNI, S.T., M.Sc.
NIDN. 1005047603



Dr. Ir. EDDY ELFIANO, S.T. M.Eng
NIDN. 1025057501

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Daniel Christensen Lubis

NPM : 213310105

Fakultas/Prodi : Teknik/Program Studi Teknik Mesin

Judul Tugas Akhir : ANALISIS *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* PADA
PENAMBAHAN KIPAS PENDINGIN KONDENSOR AC
MOBIL KAPASITAS 2400 cc

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa penulisan Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari karya tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan, maupun dari data-data yang tercantum sebagai bagian dari Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya tulis milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di daftar pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, 29 July 2025

Yang membuat pernyataan,



Daniel Christensen Lubis
NPM: 213310105

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pangkalan Kerinci pada 12 Juni 2002 merupakan anak ke 1 dari 3 bersaudara, penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD C9 School, SMP NEGERI 1 PANGKALAN KERINCI, SMA NEGERI 2 PANGKALAN KERINCI. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2020 penulis melanjutkan kuliah di Universitas Islam Riau dengan mengambil Program Studi Teknik Mesin pada tahun 2021 dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NPM 213310105.

Di program studi teknik mesin penulis mengambil bidang studi konversi energi. Kemudian penulis juga aktif dalam kegiatan internal maupun eksternal kampus, pada penulisan Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian di Bengkel AC Mobil.

ANALISIS *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* PADA PENAMBAHAN KIPAS PENDINGIN KONDENSOR AC MOBIL DIESEL KAPASITAS 2400 CC

Daniel Christensen Lubis, Eddy Elfiano
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
danielchristensenlubis@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan kipas pendingin (*extra fan*) pada kondensor terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) sistem pendingin udara (AC) mobil diesel berkapasitas 2400 cc. Permasalahan utama yang sering terjadi pada AC mobil diesel adalah menurunnya kinerja pendinginan ketika kendaraan berada pada kondisi diam (*idle*), yang menyebabkan suhu kabin meningkat akibat kerja kondensor yang kurang optimal. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan sistem AC mobil dengan refrigeran R-134a. Pengujian dilaksanakan pada tiga kondisi yaitu normal, *overload*, dan setelah penambahan *extra fan*. Data yang diukur meliputi tekanan hisap dan buang kompresor, suhu refrigeran pada beberapa titik siklus, arus listrik, serta tegangan kerja kompresor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *extra fan* meningkatkan pelepasan kalor pada kondensor dan menstabilkan tekanan kerja sistem, sehingga mencegah kondisi *overload* pada kompresor. Nilai COP aktual rata-rata yang diperoleh pada kondisi penambahan *extra fan* adalah 2,84, sedangkan COP ideal sebesar 5,09 dengan efisiensi sistem mencapai 55,79%. Dengan demikian, penambahan kipas pendingin pada kondensor terbukti mampu meningkatkan kestabilan termal sistem pendingin dan memperbaiki performa AC mobil saat mesin dalam kondisi *idle*.

Kata kunci: *Coefficient of Performance (COP), Kondensor, Kipas Pendingin, AC Mobil Diesel, Efisiensi Sistem,*

ANALYSIS OF THE COEFFICIENT OF PERFORMANCE WITH THE ADDITION OF A CONDENSER COOLING FAN IN A 2400 CC DIESEL VEHICLE AIR CONDITIONING SYSTEM

Daniel Christensen Lubis, Eddy Elfiano
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
danielchristensenlubis@student.uir.ac.id

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of adding an extra cooling fan to the condenser on the Coefficient of Performance (COP) of a diesel vehicle air conditioning (AC) system with a 2400 cc engine capacity. A common problem encountered in diesel vehicle AC systems is a decrease in cooling performance when the vehicle is in an idle condition, which causes an increase in cabin temperature due to suboptimal condenser operation. This research was conducted experimentally using a vehicle AC system with R-134a refrigerant. The tests were carried out under three conditions: normal operation, overload condition, and operation after the installation of an extra fan. The measured data included compressor suction and discharge pressures, refrigerant temperatures at several points in the cycle, electric current, and compressor operating voltage. The results show that the addition of an extra fan enhances heat rejection in the condenser and stabilizes the system's operating pressure, thereby preventing compressor overload conditions. The average actual COP obtained with the extra fan was 2.84, while the ideal COP was 5.09, resulting in a system efficiency of 55.79%. Therefore, the addition of a cooling fan to the condenser is proven to improve the thermal stability of the cooling system and enhance the performance of the vehicle's AC system when the engine is operating at idle conditions.

Keyword: Coefficient of Performance (COP), Condenser, Cooling Fan, Diesel Vehicle Air Conditioning System, System Efficiency

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr. Wb

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah Subhanawataala. Atas segala limpahan, rahmat, nikmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Analisis *Coefficient of Performance* Pada Penambahan Kipas Pendingin Kondensor AC Mobil Diesel Kapasitas 2400cc**” dengan lancar tanpa ada kendala yang berarti. Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata Satu (S1) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan Tugas Akhir ini bertujuan agar mahasiswa dapat berfikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyadari bahwa selesainya penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin berterimakasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penulisan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Orang Tua saya yang selalu mendukung dan mendoakan saya
2. Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T. Utama Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
3. Dr. Dedikarni, S.T., M.Sc. Selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
4. Ir. Ari Prasetyo, S.T., M.Eng. Selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau
5. Dr. Ir. Eddy Elfiano, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan memberikan kesempatan kepada mahasiswa dapat melaksanakan Tugas Akhir
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2021 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Adanya kritik dan saran yang membangun ke depannya bagi penulis sangat diharapkan. Semoga bermanfaat.

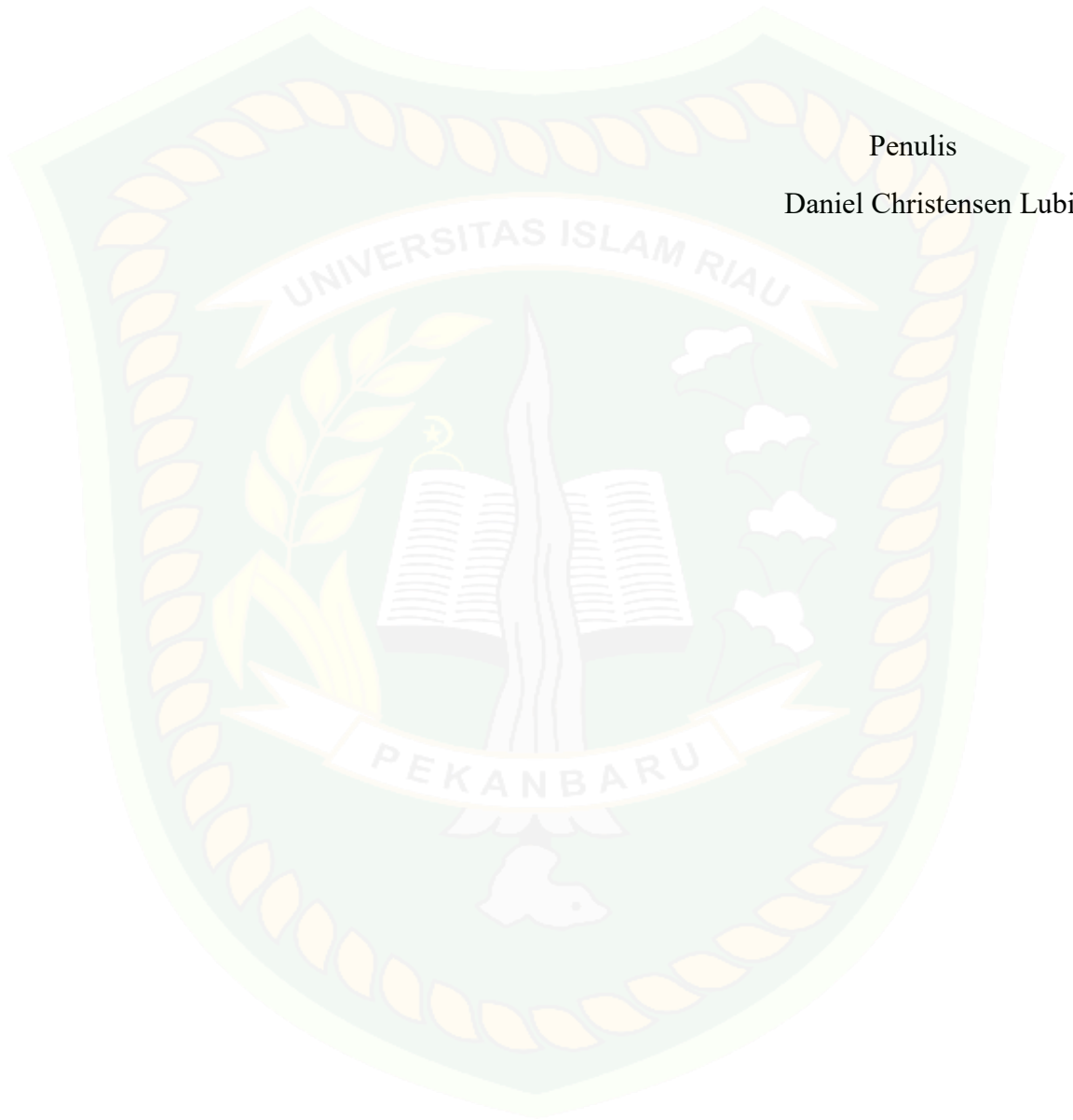
Terima Kasih

Wassalamua'laikum, Wr. Wb

Pekanbaru, Selasa 29 July 2025

Penulis

Daniel Christensen Lubis



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
BIODATA PENULIS.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Air Conditioner (AC)	5
2.2 Komponen Utama AC Mobil dan Siklus Kompresi Uap	7
2.2.1 Komponen AC Mobil	7
2.3 Konstruksi AC <i>Double Blower</i>	13
2.4 Fluida kerja siklus kompresi uap (<i>Refrigerant</i>).....	14
2.5 Siklus Kompresi Uap	16
2.6 Proses-proses pada Siklus Kompresi Uap.....	17
2.7 Rumus-Rumus Perhitungan Karakteristik Mesin Kompresi Uap	20
BAB III.....	24
METODOLOGI PENELITIAN	24

3.1 Diagram Alir.....	24
3.2 Waktu Pelaksanaan.....	25
3.3 Alat dan Bahan	25
3.3.1 Bahan.....	25
3.2.2 Bahan Eksperimen.....	28
3.3 Peralatan Pengujian	29
3.4 Metode Pengujian.....	32
3.5 Prosedur Pengambilan data	33
3.6 Tabel Jadwal Penelitian	35
BAB IV	36
HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Penelitian	36
4.2 Pembahasan.....	45
BAB V.....	51
PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2. 1 Peralatan Idle Up pada Mesin Karburator.....	13
Gambar 2. 2 Peralatan Idle Up pada Mesin Injeksi	13
Gambar 2. 3 Konstruksi Sistem AC Double Blower	14
Gambar 2. 4 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap	18
Gambar 2. 5 Diagram T-s Siklus Kompresi Uap.....	18
 Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	 24
Gambar 3. 2 Mobil Diesel Pajero Type Gls	25
Gambar 3. 3 Kompresor	26
Gambar 3. 4 Kondensor	26
Gambar 3. 5 Kipas listrik	27
Gambar 3. 6 Evaporator	27
Gambar 3. 7 Gauge Manifold.....	29
Gambar 3. 8 Tang Ampere	30
Gambar 3. 9 Termometer	30
Gambar 3. 10 Termokopel dan Alat Penampil Suhu Digital.....	31
Gambar 3. 11 Higrometer	31
Gambar 3. 12 Pompa Vakum	32
 Gambar 4. 1 Diagram siklus refrigerasi pada sistem pendingin udara mobil dengan penunjukan titik suhu T_1 – T_4	 36
Gambar 4. 2 Pengujian Suhu dan Tekanan	37
Gambar 4. 3 Kondensor tanpa kipas pendingin	38
Gambar 4. 4 Penambahan Kipas Pendingin (Extra Fan).....	39
Gambar 4. 5 Grafik rata-rata kerja kompresor	47
Gambar 4. 6 Grafik Kalor yang dilepas kondensor	47
Gambar 4. 7 Grafik kalor yang diserap evaporator.....	48
Gambar 4. 8 Grafik rata-rata COP_{actual}	48

Gambar 4. 9 Grafik rata-rata COP_{ideal}	49
Gambar 4. 10 Grafik rata-rata efisiensi mesin AC mobil.....	49
Gambar 4. 11 Grafik rata-rata laju aliran massa	50

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3. 1 Tekanan pada saat normal	33
Tabel 3. 2 Tekanan pada saat tidak normal atau overload.....	34
Tabel 3. 3 Tekanan pada penambahan kipas listrik (ekstra fan).....	34
Tabel 3. 4 Jadwal penelitian	35
Tabel 4. 1 Data pada saat keadaan normal	37
Tabel 4. 2 Data pada keadaan tidak normal atau overload.....	38
Tabel 4. 3 Data pada saat penambahan kipas pendingin.....	38
Tabel 4. 4 Pada saat keadaan normal	39
Tabel 4. 5 Pada saat keadaan tidak normal atau overload.....	39
Tabel 4. 6 Pada saat penambahan kipas pendingin	40
Tabel 4. 7 Kerja Kompresor (Win).....	41
Tabel 4. 8 Kalor yang dilepas kondensor (Q_{out})	41
Tabel 4. 9 Kalor yang diserap evaporator (Q_{in}).....	42
Tabel 4. 10 COP_{actual} (Coefficient of Performance).....	43
Tabel 4. 11 COP_{ideal} (Coefficient of Performance).....	44
Tabel 4. 12 Efisiensi mesin AC mobil.....	44
Tabel 4. 13 Laju aliran massa (m)	45
Tabel 5. 1 Rata-rata karakteristik mesin AC mobil	51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

AC atau (*Air Conditioning*) ialah cara pendinginan udara yang dimana udara yang didinginkan lalu dikeringkan, bersihkan dan disirkulasikan ke seluruh ruang kabin yang selanjutnya, kualitas udaranya dikondisikan tersebut dengan teratur (Syahyuniar, 2018). Dalam pengaturan terdapat temperatur, kelembaban dan volume udara pada setiap kondisi yang diatur. Penggunaan dari *Air Conditioning* (AC), khususnya pada AC mobil sudah hampir semua mobil memilikinya, dan performansi sistem dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, jenis *refrigerant*, beban pendinginan, masa *recharging refrigerant* yang diisikan kedalam sistem, jenis kompresor, putaran dari kompresor, dan tekanan dari kerja sistem (Aminanta dan Ichsan, 2016).

Kompresor AC mobil pada umumnya berguna untuk menghisap *refrigerant* pada tekanan rendah, selanjutnya akan distribusikan lagi ke kondensor dalam tekanan dan suhu tinggi. Fungsi dari kompresor ini sama seperti jantung didalam manusia dan refrigeran sebagai darahnya. Untuk kompresor ini mempunyai 2 saluran, yakni saluran penghisap (*suction*) dan saluran pembuang (*discharge*) (Sugoro, 2017).

Pada sistem pendingin AC mobil masih banyak juga keluhan dari para pengguna kendaraan pada mobil Diesel kapasitas 2400cc berawal dari keluhan atau data yang terdapat pada konsumen AC tidak dingin, kemudian melakukan pengecekan terdapat adanya kebocoran, kemudian selang beberapa waktu yang akan datang terdapat keluhan AC mobil tersebut kurang dingin pada saat kendaraan berhenti dalam waktu sekitar 10 menit dan 20 menit suhu didalam ruang kabin dirasakan kurang dingin dari sebelumnya kemudian pada saat kendaraan tersebut sedang berjalan suhu dingin didalam ruang kabin meningkat. Dari keluhan atau masalah yang disebabkan pengguna kendaraan tersebut sering menyalakan kendaraannya pada saat parkir dengan jangka

waktu yang cukup lama bahkan terkadang kendaraan tersebut digunakan waktu istirahat seperti tidur didalam kendaraan dengan waktu selama 30 menit bahkan lebih dari waktu tersebut.

Dari keluhan permasalahan diatas maka yang kita melakukan tindakan dengan menambahkan komponen tambahan yaitu kipas listrik (*extra fan*). Sebelum melakukan penambahan komponen *extrafan* tersebut maka terlebih dahulu kita melakukan pengecekan terhadap kondensor dan evaporator dengan melakukan pembersihan terhadap kisi-kisi sirip komponen tersebut. Kemudian selanjutnya melakukan pengecekan terhadap kondensor tersebut dengan sirkulasi *refrigerant* apakah refrigeran dengan pelumas (*oil*) AC mobil tidak berubah warna dari wujud oli AC menjadi hitam bisa terjadi penyumbatan terhadap sirkulasi *refrigerant* ke seluruh komponen pendingin AC. Kemudian dari penyumbatan tersebut bisa menyebabkan kompresor AC mobil *overload* dan menyebabkan kerusakan total atau yang disebut dengan secara umum nya jim tidak bisa bekerja sama sekali.

Penelitian tentang Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Kerja Kompresor Terhadap Performa Sistem AC ini pernah dilakukan oleh Sagoro (2017) menghasilkan peningkatan variasi tekanan kerja dari kompresor ini sangat mempengaruhi terhadap nilai *Coefficient of Performance* (COP) atau kerja pada AC mobil. Semakin besar variasi tekanan pada kompresor AC mobil yang diberikan maka semakin cepat menurunkan suhu/mendinginkan ruangan dalam kabin di dalam mobil. Dan efisien tertinggi yang dihasilkan dari AC mobil ini senilai 99,40%. Penelitian yang dilakukan oleh Sorokos pada tahun 2016 menjelaskan tentang konsekuensi potensial yang terkait dengan mengoperasikan kompresor sentrifugal saat *overload* atau kelebihan beban, hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi *overload* dapat menyebabkan kompresor sentrifugal terkena gaya yang merugikan. Bahkan, dalam beberapa keadaan *overload* bisa merugikan integritas struktural seluruh komponen AC.

Dari penjelasan di atas tersebut maka penelitian yang akan dilakukan yaitu tentang **“ANALISIS *Coefficient of Performance* PADA PENAMBAHAN KIPAS PENDINGIN KONDENSOR AC MOBIL DIESEL KAPASITAS 2400 CC”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun uraian latar belakang yang dijelaskan, maka ditemukan rumusan masalah dalam penelitian ini dapat diperoleh sebagai berikut:

1. Bagaimana kenaikan beban termal pada ruang kabin mobil Diesel kapasitas 2400cc ?
2. Faktor apa saja yang menyebabkan kompressor AC overload ketika mesin mobil Diesel kapasitas 2400cc dalam keadaan *idle* ?
3. Bagaimana pengoperasian AC mobil Diesel kapasitas 2400cc ketika mesin dalam keadaan diam *idle* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun uraian rumusan masalah yang disimpulkan, maka ditemukan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan nilai COP Sistem Refrigrasi mobil Diesel kapasitas 2400cc pada saat dilakukan penambahan kipas pendingin.
2. Untuk mengetahui faktor apa saja yang dapat menyebabkan kompresor AC *overload* ketika mesin dalam keadaan *idle*.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengoperasian AC mobil Diesel kapasitas 2400cc ketika mesin dalam keadaan *idle*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan nilai COP dari mesin AC yang akan digunakan.
2. Dapat meminimalisir *maintenance cost* AC dan menghemat konsumsi bahan bakar.
3. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknik otomotif, khususnya dalam analisis termodinamika sistem pendingin kendaraan.

1.5 Batasan Masalah

Dari uraian sebelumnya maka agar terfokus dan terarah, maka penelitian yang akan dilakukan akan dibatasi, sebagai berikut:

1. Batasan masalah hanya membahas tentang nilai *Coefficient of Performance* pada penambahan kipas kondensor AC mobil Diesel kapasitas 2400 cc
2. Tidak dilakukan analisis terhadap dampak jangka panjang terhadap sistem kelistrikan mobil atau umur komponen AC
3. Penambahan kipas pendingin dilakukan pada komponen kondensor AC dengan posisi statis didepan kondensor
4. Data pengukuran dilakukan dalam kondisi kendaraan tidak bergerak (*stationary*) dan pada suhu lingkungan tertentu

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Air Conditioner (AC)

Air Conditioner (AC) yaitu hasil perubahan dan pengembangan dari teknologi alat pendingin. Fungsi utama AC adalah memberikan udara dingin sekaligus menjaga kelembapan udara yang diinginkan oleh penggunanya. Di lingkungan kita kerja, AC sering bermanfaat untuk sarana untuk meningkatkan kenyamanan, yang pada akhirnya dapat berkontribusi terhadap produktivitas kerja. Dan tingkat kenyamanan suatu ruangan sendiri ditentukan dengan beberapa faktor, antara lain temperaturnya, kelembapan udara, sirkulasi udara, dan kebersihannya udara. Untuk dapat mencapai kondisi udara yang sesuai dengan kebutuhan, peralatan pendingin yang digunakan harus memiliki kapasitas yang seimbang dengan beban pendinginan pada ruangan (Santoso, 2010).

AC mobil merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengatur tingkat suhu udara di dalam ruang kabin kendaraan sehingga tercipta kenyamanan bagi pengemudi maupun penumpang. Prinsip kerja sistem AC menggunakan siklus dari kompresi uap dengan menggunakan refrigeran yang bersirkulasi secara terus-menerus untuk menyerap dan melepaskan panas. Dalam proses ini, refrigeran mengalami perubahan kondisi dari tekanan rendah ke tekanan tinggi, dan sebaliknya, melalui komponen utama seperti kompresor, kondensor, katup ekspansi, serta evaporator. Jumlah refrigeran dalam sistem AC mobil bersifat tetap, artinya massa refrigeran tidak berkurang selama sistem bekerja.

Sistem Air Conditioner (AC) adalah proses kondisi dari suatu udara, yaitu udara yang didinginkan, lalu dikeringkan, selanjutnya dibersihkan, serta udara disirkulasikan. Selanjutnya, dari jumlah dan kualitas udara telah dikondisikan ini diatur sesuai kebutuhan. Pada kendaraan bermotor, penggunaan sistem AC bertujuan

untuk menciptakan suhu yang membuat nyaman pengendara maupun penumpang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan selama perjalanan (Sinaga, 2013)



2.2 Komponen Utama AC Mobil dan Siklus Kompresi Uap

2.2.1 Komponen AC Mobil

Pada sistem AC mobil, terdapat beberapa komponen utama yang sangat penting untuk diketahui, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Masing-masing komponen tersebut memiliki fungsi spesifik yang saling berkaitan sehingga proses pengkondisian udara di dalam kabin dapat berlangsung dengan baik. Dan kinerja sistem AC mobil tidak hanya ditentukan oleh keberadaan komponen utama, tetapi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain, seperti jenis kompresor yang digunakan, kecepatan putaran blower, serta jumlah refrigeran yang bersirkulasi dalam sistem. Faktor-faktor ini sangat berperan dalam menentukan tingkat kenyamanan suhu di dalam kabin (Syahyuniar, 2018).

Pada sistem AC, terdapat dua komponen penukar panas yang memiliki peran penting. Komponen pertama adalah *evaporator*, yang berfungsi menyerap panas dari udara di dalam ruangan kemudian mentransfernya ke fluida kerja atau refrigeran. Kedua, kondensor, yang berfungsi melepaskan panas yang telah diserap oleh fluida kerja ke udara luar (Aminanta & Ichsan, 2016). Dan ditinjau dari sisi termodinamika, sistem AC yang bekerja dengan siklus kompresi uap akan menyerap kalor pada ruangan yang dikondisikan melalui evaporator pada kondisi temperatur dan tekanan rendah, kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi (Aziz, 2014).

1. Kompresor (*Compressor*)

Kompresor AC pada kendaraan berperan sebagai komponen inti dalam sistem pendingin udara, yang berfungsi menghisap dan menyalurkan refrigeran agar dapat bersirkulasi ke seluruh rangkaian sistem AC. Kinerja kompresor inilah yang menimbulkan perbedaan tekanan antara sisi masuk (tekanan rendah) dan sisi keluar (tekanan tinggi), sehingga proses perpindahan panas dapat terjadi secara efisien.

Kompresor berfungsi sebagai komponen utama atau “jantung” dalam sistem kompresi uap, yang bertugas mengalirkan refrigeran ke seluruh bagian sistem pendingin. Alat ini bekerja layaknya pompa isap, yang menarik gas refrigeran dari sisi

tekanan rendah untuk kemudian menyalurkannya ke sisi tekanan tinggi. Dalam proses operasinya, kompresor meningkatkan tekanan dan suhu refrigeran. Ketika bekerja, kompresor menghisap gas refrigeran dari evaporator yang masih berada dalam kondisi bertekanan dan bersuhu rendah. Gas tersebut kemudian dimampatkan di dalam ruang kompresi, sehingga tekanan dan suhunya naik secara signifikan. Setelah proses pemampatan selesai, refrigeran bertekanan tinggi dikeluarkan melalui saluran tekan dan dialirkan menuju kondensor untuk proses pelepasan panas.

a. Kompresor torak

Kompresor torak merupakan jenis kompresor yang bekerja berdasarkan gerakan bolak-balik piston di dalam silinder untuk memampatkan gas refrigeran. Kompresor ini banyak digunakan dalam berbagai sistem pendingin karena memiliki desain yang sederhana, daya kompresi tinggi, serta mudah dalam perawatan dan perbaikan.

b. Kompresor rotary

Kompresor rotary merupakan jenis kompresor yang memanfaatkan rotor berputar di dalam stator untuk melakukan proses pemampatan fluida. Rotor pada kompresor ini dilengkapi dengan dua buah bilah atau baling-baling (vane) yang berfungsi mengatur proses hisap dan tekan secara bergantian. Dibandingkan dengan kompresor torak, jenis rotary memiliki ukuran yang lebih kompak, operasi yang lebih halus, dan tingkat getaran yang lebih rendah.

c. Kompresor sudu

Kompresor jenis sudu banyak diterapkan pada perangkat pendingin rumah tangga, seperti lemari es, freezer, serta sistem pendingin udara domestik. Selain itu, kompresor ini juga berfungsi sebagai kompresor pendukung pada bagian tekanan rendah dalam sistem kompresi bertingkat besar.

d. Kompresor sentrifugal

Kompresor sentrifugal umumnya diaplikasikan pada sistem refrigerasi berkapasitas besar, dengan kisaran daya antara 200 hingga 10.000 kW. Jenis kompresor ini sering dipilih karena kemampuannya menghasilkan aliran fluida yang stabil dan efisiensi tinggi pada sistem berskala industri.

2. *Magnetic Clutch*

Magnetic clutch berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan putaran mesin terhadap kompresor AC. Dengan demikian, kompresor hanya bekerja ketika sistem pendingin diaktifkan, sehingga efisiensi energi dan umur komponen dapat lebih terjaga. Saat mesin beroperasi, puli (rotor) akan berputar karena terhubung dengan poros engkol melalui belt. Namun,

Kompresor AC belum berputar sebelum magnetic clutch mendapat suplai arus listrik. Ketika arus listrik dialirkan ke stator, maka medan magnet terbentuk dan menarik pressure plate sehingga menempel pada puli. Akibatnya, kompresor ikut berputar seirama dengan puli dan mesin, dan proses kompresi refrigeran pun dimulai. Sebaliknya, ketika arus listrik diputus, medan magnet menghilang, pressure plate terlepas dari puli, dan kompresor berhenti berputar meskipun mesin tetap hidup

3. *Kondensor*

Kondensor merupakan komponen utama dalam sistem pendingin yang berfungsi sebagai tempat terjadinya kondensasi refrigeran. Uap refrigeran bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi yang keluar dari kompresor dialirkan ke kondensor untuk melepaskan kalor. Kalor yang dilepaskan merupakan hasil penyerapan panas dari evaporator serta panas tambahan akibat proses kompresi di dalam kompresor. Fungsi utama kondensor adalah membuang kalor ke lingkungan luar sehingga refrigeran yang semula berbentuk gas dapat berubah wujud menjadi cair pada kondisi tekanan tinggi. Agar proses ini berjalan optimal, tekanan refrigeran yang keluar dari kondensor harus cukup tinggi untuk mengatasi hambatan aliran pada pipa maupun tahanan pada katup ekspansi. Sebaliknya, jika tekanan di dalam kondensor terlalu rendah, maka aliran refrigeran menuju alat ekspansi akan terganggu. Secara termodinamika, jumlah kalor yang dilepaskan oleh kondensor sama dengan jumlah kalor yang diserap refrigeran dalam evaporator ditambahkan dengan kalor ekuivalen dari kerja kompresi yang dilakukan kompresor. Dengan demikian, kondensor memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan siklus pendinginan.

Hartanto dan Aziz (2014) dijelaskan bahwa pada kondensor, komponen yang sangat aktif untuk membantu proses pelepasan kalor dalam fan. Fan ini umumnya

berbentuk kipas dan terletak di luar ruangan, berfungsi untuk mempercepat pendinginan refrigeran yang berada di dalam kondensor. Pada area sekitar fan inilah terjadi proses pelepasan kalor yang berasal dari evaporator, yang kemudian dibuang ke lingkungan luar. Mekanisme ini merupakan bentuk perpindahan panas dengan konveksi paksa, di mana aliran udara dipaksakan melalui kondensor oleh putaran fan sehingga proses pelepasan kalor berlangsung lebih efektif.

4. Kipas Listrik Kondensor

Sebagian besar kendaraan yang dilengkapi dengan AC menggunakan kipas listrik untuk membantu proses pendinginan pada kondensor. Kipas listrik ini berfungsi sebagai penghisap sekaligus pembuang udara dari luar, kemudian mengalirkannya melewati sirip-sirip kondensor. Dengan demikian, udara yang mengalir tersebut berperan dalam mempercepat pelepasan kalor dari refrigeran di dalam kondensor sehingga proses kondensasi dapat berlangsung secara optimal.

5. Receiver/Dryer

Receiver/Dryer adalah komponen penting dalam sistem AC mobil yang berfungsi untuk menampung sementara refrigeran cair sebelum dialirkan ke evaporator melalui katup ekspansi sesuai dengan beban pendinginan yang dibutuhkan. Selain sebagai penampung, receiver/dryer juga berfungsi sebagai filter untuk menyaring uap air serta kotoran yang terbawa bersama refrigeran. Keberadaan uap air maupun kotoran di dalam sistem sangat berbahaya karena dapat menyebabkan penyumbatan pada katup ekspansi, menurunkan kinerja pendinginan, serta merusak komponen lain dalam siklus refrigerasi. Oleh karena itu, receiver/dryer berperan penting dalam menjaga kelancaran dan keawetan sistem AC mobil.

6. Katup Ekspansi

expansion valve atau katup ekspansi adalah komponen utama dalam sistem AC yang berfungsi untuk menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran yang keluar dari kondensor. Pada tahap ini, refrigeran bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi mengalami penurunan tekanan secara tiba-tiba ketika melewati katup ekspansi, sehingga sebagian berubah menjadi campuran cair dan gas dengan suhu rendah.

7. Evaporator

Evaporator berfungsi sebagai kebalikan dari kondensor. Komponen ini bertugas menyerap panas dari udara di dalam kabin yang akan didinginkan. Proses pendinginan terjadi ketika udara dihembuskan melalui sirip-sirip pipa evaporator, sehingga udara yang masuk ke kabin menjadi lebih sejuk. Pada saat bersamaan, refrigeran di dalam pipa evaporator menyerap panas dari udara tersebut. Akibatnya, refrigeran cair bertekanan rendah mengalami proses pendidihan dan berubah fase menjadi uap atau gas. Proses inilah yang menjadi inti dari sistem kerja pendinginan pada AC mobil.

8. Thermostat

Thermostat mempunyai fungsi untuk mengatur penyaluran daya listrik ke kompresor secara otomatis. Komponen ini dilengkapi dengan sensor yang mendeteksi suhu pada evaporator sesuai dengan setelan yang telah ditentukan. Ketika suhu evaporator mencapai batas tertentu, thermostat akan memutus arus listrik ke kompresor untuk mencegah terjadinya pembekuan. Apabila thermostat mengalami kerusakan, maka arus listrik tidak dapat terputus sehingga evaporator berpotensi membeku. Kondisi ini biasanya ditandai dengan keluarnya asap dari kisi AC serta adanya tetesan air menyerupai embun yang menetes dari evaporator. Dengan demikian, thermostat memiliki peran penting dalam menjaga kinerja dan keandalan sistem AC mobil.

9. Blower

Blower ini mempunyai fungsi untuk menghembuskan udara melewati sirip-sirip evaporator, sehingga udara yang semula bersuhu ruang akan didinginkan ketika bersentuhan dengan permukaan evaporator. Udara dingin tersebut kemudian dialirkan searah dengan aliran tiupan blower menuju ke ruang kabin mobil. Dengan demikian, blower berperan penting dalam mendistribusikan udara sejuk secara merata di dalam kendaraan, sehingga kenyamanan penumpang dapat terjaga.

10. Refrigerant

Refrigerant adalah media kerja dalam sistem pendingin berupa senyawa yang berfungsi untuk menyerap dan melepaskan kalor melalui siklus termodinamika. Dalam siklus pendinginan, refrigeran akan mengalami perubahan fasa secara berulang, yaitu

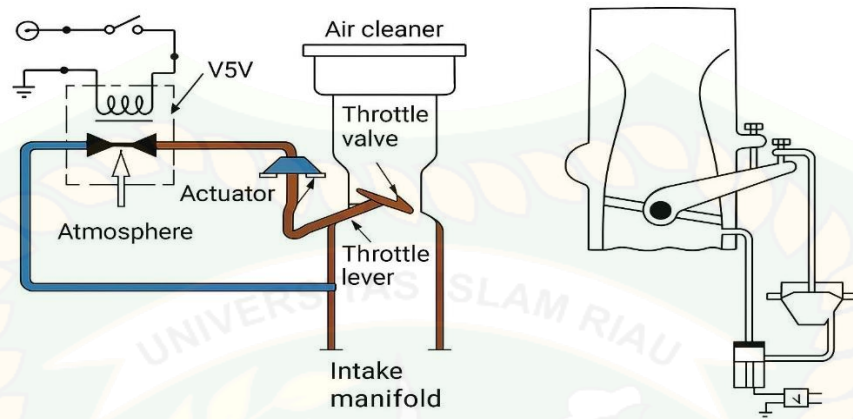
dari gas menjadi cair dan sebaliknya. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu refrigeran agar dapat digunakan secara efektif dan aman dalam sistem pendingin adalah sebagai berikut:

- a) Memiliki tekanan penguapan yang tinggi, sehingga proses penguapan dapat berlangsung optimal
- b) Memiliki tekanan pengembunan yang rendah, sehingga proses kondensasi dapat terjadi dengan mudah.
- c) Mempunyai kalor laten penguapan yang tinggi, agar kapasitas pendinginan lebih besar.
- d) Memiliki koefisien prestasi (COP) yang tinggi, sehingga sistem lebih efisien.
- e) Memiliki konduktivitas termal yang tinggi, untuk mempercepat perpindahan panas.
- f) Memiliki viskositas rendah, agar sirkulasi dalam sistem lebih mudah dan gesekan lebih kecil.
- g) Bersifat stabil dan tidak mudah bereaksi dengan bahan lain.
- h) Tidak beracun dan tidak berbau, sehingga aman digunakan.
- i) Tidak mudah terbakar, demi keamanan sistem.
- j) Mudah dideteksi apabila terjadi kebocoran.
- k) Harga terjangkau dan mudah diperoleh di pasaran.
- l) Banyak digunakan secara luas di masyarakat, sehingga ketersediaan dan dukungan teknis lebih terjamin.

11. *Idle Up*

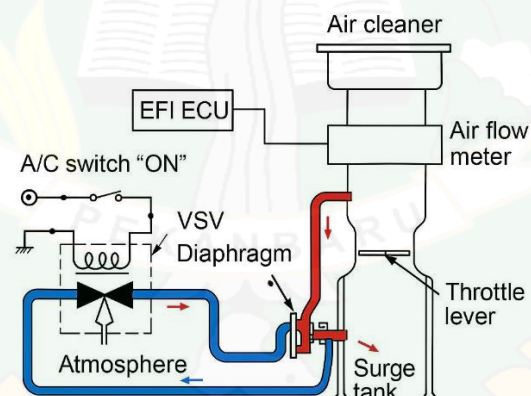
Ketika sistem AC mobil dihidupkan, maka secara otomatis kompresor AC akan bekerja. Kondisi ini akan menyebabkan beban kerja mesin meningkat, sehingga berdampak pada penurunan putaran idle mesin. Untuk mengatasi penurunan putaran idle tersebut, digunakan suatu perangkat yang disebut idle up. Fungsi idle up adalah menjaga agar putaran mesin tetap stabil meskipun kompresor AC sedang bekerja. Sistem idle up yang digunakan dapat berbeda-beda, bergantung pada *type* mesin dan

jenis sistem bahan bakar yang digunakan, baik pada mesin karburator maupun mesin dengan sistem injeksi bahan bakar



Gambar 2. 1 Peralatan Idle Up pada Mesin Karburator

(Sumber: Denso, 2000:CA-65)



Gambar 2. 2 Peralatan Idle Up pada Mesin Injeksi

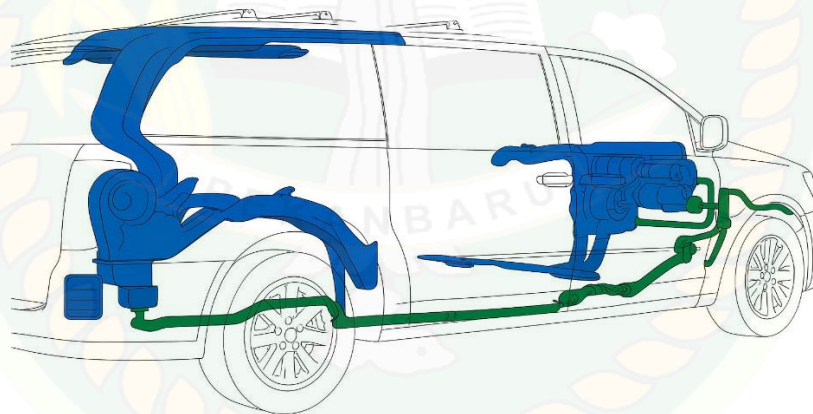
(Sumber: Denso, 2000: CA-65)

2.3 Konstruksi AC *Double Blower*

Setiap jenis kendaraan memiliki rancangan sistem AC yang berbeda-beda, disesuaikan dengan ukuran kendaraan serta kebutuhan pendinginan pada kabinnya.

Pada mobil jenis sedan, umumnya hanya digunakan sistem AC single blower yang terletak di bagian depan kabin. Sementara itu, pada kendaraan jenis *Multi Purpose Vehicle* (MPV) atau mobil berpenumpang banyak, sering digunakan sistem AC double blower. Pada sistem ini, satu blower ditempatkan di bagian depan dan satu lagi di bagian belakang, sehingga distribusi udara dingin ke seluruh kabin dapat lebih merata.

Sistem AC *double blower* dibutuhkan jumlah refrigeran yang sangat banyak berbeda dengan AC *single blower*. Selain itu, panjang pipa instalasi juga lebih besar karena harus menyalurkan refrigeran hingga ke blower belakang. Perbedaan lain terletak pada kompresor dan kondensor yang digunakan. Kompresor di sistem double blower berukuran lebih besar dan membutuhkan tenaga mesin yang sangat tinggi untuk memutarinya. Kondensor pun memiliki ukuran yang lebih besar, disesuaikan dengan jumlah refrigeran yang lebih banyak, sehingga dibutuhkan penampang pendinginan yang lebih luas untuk membuang kalor dari refrigeran secara efektif.



Gambar 2. 3 Konstruksi Sistem AC Double Blower

(Sumber: Denso, 2000: CA-66)

2.4 Fluida kerja siklus kompresi uap (*Refrigerant*)

Untuk memungkinkan terjadinya proses pendinginan pada siklus kompresi uap, diperlukan suatu zat yang mudah mengalami perubahan fase, baik dari gas menjadi cair

maupun dari cair menjadi gas. Bahan tersebut disebut *Refrigerant*, yaitu fluida atau zat pendingin yang sangat penting dalam sistem pendingin.

Refrigerant ini berfungsi menyerap panas melalui proses evaporasi (merubahan fase dari cair menjadi gas) dan membuang panas melalui proses kondensasi (merubahan fase dari gas menjadi cair). Dalam siklus kerjanya, refrigeran mengalami beberapa tahapan perubahan fase, di mana refrigeran yang pada kondisi awal berbentuk cair, setelah melalui proses kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi, akan kembali lagi ke keadaan awalnya. Dengan demikian, refrigeran bekerja secara siklis dan berulang-ulang, sehingga mampu mempertahankan proses pendinginan secara kontinu.

2.4.1 Udara

Menggunakan udara sebagai refrigeran umumnya diterapkan pada sistem pendingin mobil. Sistem ini bekerja berdasarkan siklus kompresi udara (*air cycle refrigeration system*). Meskipun efisiensi sistem yang ditunjukkan dengan nilai *Coefficient of Performance* (COP) relatif rendah dibandingkan dengan sistem refrigeran sintetis, penggunaan udara dianggap lebih aman karena tidak beracun.

2.4.2 Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida (CO₂) adalah salah satu *Refrigerant* pertama yang digunakan dalam sistem pendingin, bersama dengan amonia. CO₂ kadang dimanfaatkan pada proses pembekuan langsung (*direct contact freezing*), yaitu dengan cara menyentuhkan refrigeran langsung pada bahan makanan. Namun, penggunaan CO₂ memiliki keterbatasan, terutama karena tekanan pengembunannya yang tinggi, sehingga penerapannya lebih banyak digunakan pada sistem dengan suhu rendah. Seiring perkembangan teknologi, beberapa produsen mobil modern mulai menggunakan CO₂ sebagai refrigeran alternatif pada sistem pendingin udara kendaraan. Hal ini dipandang ramah terhadap lingkungan, dikarenakan CO₂ mempunyai potensi pemanasan global (GWP) yang rendah dibandingkan refrigeran sintetis konvensional seperti R-134a.

2.4.3 Refrigerant-22

Refrigeran R-22 (CHClF_2) adalah salah satu jenis hidroklorofluorokarbon (HCFC) yang banyak digunakan pada sistem pendingin dan pengkondisian udara. R-22 memiliki titik didih sebesar $-40,8\text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan 1 atm, sehingga cukup efektif digunakan sebagai media pendingin. Awalnya, R-22 banyak dipilih sebagai pengganti R-12 karena dianggap lebih aman terhadap lapisan ozon dibandingkan refrigeran klorofluorokarbon (CFC). Namun, seiring berkembangnya penelitian lingkungan, diketahui bahwa R-22 tetap memiliki *Ozone Depletion Potential* (ODP) dan *Global Warming Potential* (GWP) yang cukup tinggi. Atas dasar tersebut, penggunaan R-22 saat ini dilarang secara global melalui protokol internasional (seperti Protokol Montreal) dan digantikan dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan, seperti R-134a, R-410A, maupun refrigeran berbasis *hidrofluoroolefin* (HFO).

2.4.4 HFC (Hydro Fluoro Carbon)

Refrigeran R-134a (HFC-134a) merupakan jenis refrigeran yang saat ini paling banyak digunakan, khususnya pada sistem pendingin dan AC mobil. Alasan utama penggunaannya adalah karena ramah lingkungan dan tidak merusak lapisan ozon, sehingga menjadi alternatif yang lebih aman dibandingkan refrigeran generasi sebelumnya seperti R-12. Refrigeran ini termasuk ke dalam kelompok Hydro Fluoro Carbon (HFC) dengan nama kimia haloalkana. R-134a memiliki rumus molekul CH_2FCF_3 dan titik didih $-96,6\text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan 101,321 kPa (1 atm). Dari segi sifat termodinamika, R-134a memiliki karakteristik yang cukup mirip dengan R-12 (diklorodifluorometana), sehingga dapat digunakan sebagai pengganti langsung pada banyak sistem pendingin.

2.5 Siklus Kompresi Uap

Komponen utama pada siklus kompresi uap terdiri dari evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi. Keempat komponen ini bekerja secara berkesinambungan untuk menghasilkan proses pendinginan. Dalam sistem ini digunakan refrigeran sebagai fluida kerja yang secara berulang mengalami perubahan fase. Beberapa jenis refrigeran yang umum dipakai antara lain R-11, R-12, R-21, R-

22, R-410, dan R-134a. Di antara jenis-jenis tersebut, R-134a merupakan refrigeran yang paling banyak digunakan pada saat ini, terutama karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan dibandingkan generasi sebelumnya, misalnya R-12.

Siklus kompresi uap terdiri dari beberapa proses utama, yaitu:

1. Proses kompresi, berlangsung di dalam kompresor, di mana refrigeran uap ditekan sehingga tekanannya meningkat.
2. Proses pendidihan (evaporasi), berlangsung di dalam evaporator, di mana refrigeran menyerap panas dari udara atau media pendingin lainnya sehingga berubah menjadi uap.
3. Proses penurunan suhu, kondensasi, dan subcooling, berlangsung di dalam kondensor, di mana panas dilepaskan ke lingkungan dan refrigeran berubah dari uap menjadi cair.
4. Proses penurunan tekanan, berlangsung di katup ekspansi, di mana tekanan refrigeran diturunkan sebelum masuk kembali ke evaporator untuk mengulangi siklus.

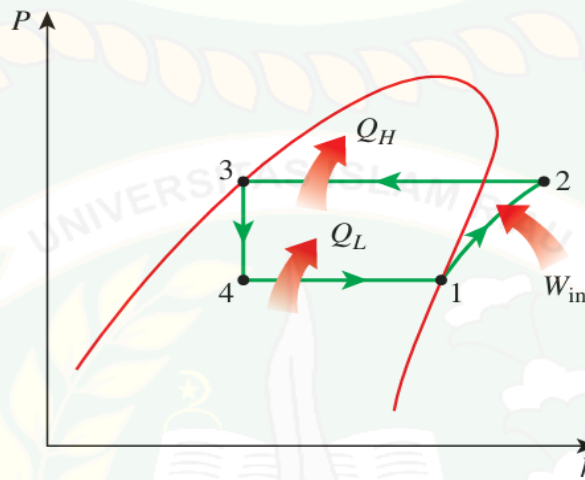
Secara umum, siklus kompresi uap ini dapat digambarkan dalam bentuk skema diagram yang memperlihatkan alur perpindahan refrigeran dari satu komponen ke komponen lainnya.

2.6 Proses-proses pada Siklus Kompresi Uap

Untuk memahami proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap pada AC mobil, digunakan diagram tekanan–entalpi (P-h diagram). Dengan bantuan diagram ini, dapat dianalisis setiap tahapan perubahan sifat termodinamika refrigeran, sehingga proses-proses yang berlangsung dalam siklus pendinginan dapat diketahui secara jelas. Komponen utama dalam siklus kompresi uap terdiri dari:

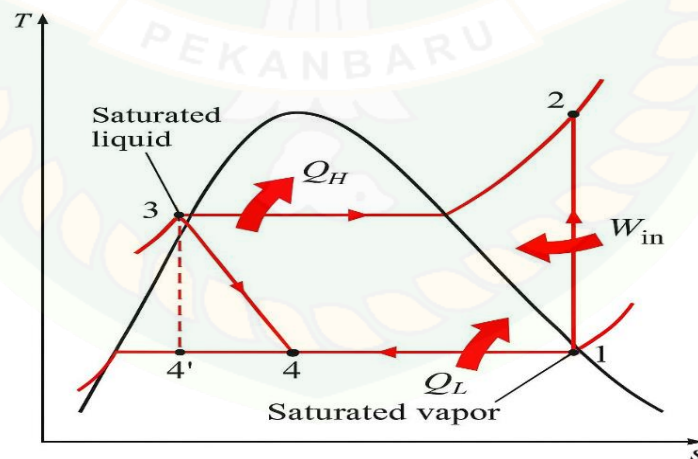
1. Kompresor: berfungsi menekan refrigeran uap bertekanan rendah dari evaporator menjadi uap bertekanan tinggi.

2.Kondensor: berfungsi melepaskan panas refrigeran ke udara luar hingga refrigeran berubah dari fase gas menjadi cair. Secara umum, skema rangkaian siklus kompresi uap ditunjukkan pada Gambar dibawah ini, di mana aliran refrigeran digambarkan mulai dari kompresor, kondensor, katup ekspansi, hingga evaporator, yang kemudian kembali lagi ke kompresor untuk mengulangi siklus



Gambar 2. 4 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap

(Sumber: Thermodynamics An Engineering Approach)



Gambar 2. 5 Diagram T-s Siklus Kompresi Uap

(Sumber: Cengel Boles,1998)

Dalam siklus kompresi uap standar, *refrigerant* mengalami beberapa proses, yaitu :

a. Proses 1-2 yaitu (*isentropis*)

Proses kompresi bertujuan untuk meningkatkan tekanan refrigeran, yaitu dari kondisi bertekanan rendah menjadi bertekanan tinggi. Proses ini berlangsung di dalam kompresor dan secara teoritis dianggap sebagai proses isentropik adiabatik, yaitu proses ideal tanpa perpindahan panas dengan entropi yang tetap konstan. Refrigeran yang masuk ke kompresor umumnya berada dalam fase gas panas lanjut dengan suhu relatif rendah. Setelah melalui kompresor, refrigeran mengalami peningkatan tekanan dan temperatur secara signifikan.

b. Proses 2-2a yaitu (*desuperheating*)

desuperheating, yaitu proses penurunan suhu refrigeran dari kondisi gas panas lanjut (*superheated vapor*) menjadi gas jenuh (*saturated vapor*). Proses ini berlangsung di dalam kondensor pada tekanan konstan. Pada tahap ini, refrigeran melepaskan kalor ke lingkungan luar. Perpindahan kalor terjadi karena temperatur refrigeran lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur udara sekitar kondensor, sehingga terjadi aliran panas dari refrigeran ke udara. Akibat dari pelepasan kalor tersebut, suhu refrigeran menurun hingga mencapai titik jenuh, namun wujudnya masih dalam fase uap. Proses ini penting karena merupakan langkah awal sebelum refrigeran mengalami proses kondensasi pada tahapan berikutnya.

c. Proses 2a-3 (Proses pengembunan *refrigerant*)

Proses pengembunan refrigeran berlangsung di dalam kondensor. Pada tahap ini, refrigeran yang berada pada tekanan tinggi dan temperatur tinggi melepaskan kalor (*heat rejection*) ke lingkungan. Seiring pelepasan kalor, fase refrigeran berubah secara bertahap dari gas jenuh (*saturated vapor*) menjadi cair jenuh (*saturated liquid*). Walaupun terjadi pelepasan kalor dalam jumlah besar, proses ini berlangsung pada tekanan dan temperatur yang relatif tetap, sesuai karakteristik proses kondensasi.

d. Proses 3-4 (Proses Penurunan Tekanan)

Proses penurunan tekanan refrigeran berlangsung di katup ekspansi (*expansion valve* atau *orifice tube*). Pada proses ini terjadi:

- Penurunan tekanan dan temperatur secara tiba-tiba,

- Tidak ada perubahan entalpi (proses isentalpik),
- Fase refrigeran berubah dari cair bertekanan tinggi menjadi campuran cair–uap bertekanan rendah.

Fungsi utama katup ekspansi adalah:

1. Mengatur laju aliran refrigeran yang masuk ke evaporator sesuai dengan beban pendinginan.
2. Menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran sehingga sesuai untuk proses pendinginan di evaporator.

Dengan keluarnya refrigeran dalam bentuk campuran cair–uap bertekanan rendah, maka refrigeran siap untuk menyerap panas pada tahap berikutnya di evaporator.

e. Proses 4-1 (Proses penguapan atau evaporasi)

Proses ini terjadi di dalam evaporator, di mana panas dari udara dalam ruangan diserap oleh refrigeran yang masuk dalam kondisi campuran cair dan gas bertekanan rendah. Akibat penyerapan panas tersebut, refrigeran mengalami perubahan fase dari campuran cair–gas menjadi gas jenuh bertekanan rendah.

Diproses pendidihan ini akan terjadi pada tekanan dan suhu konstan, karena perpindahan kalor berlangsung hingga seluruh cairan refrigerant berubah menjadi uap. Setelah keluar dari evaporator, refrigerant dalam fase gas bertekanan rendah kembali masuk ke dalam kompresor untuk disirkulasikan lagi. Disiklus ini berlangsung terus-menerus sampai suhu ruangan mencapai kondisi yang diinginkan.

3. Katup ekspansi berfungsi menurunkan tekanan refrigeran cair sebelum dialirkan ke dalam evaporator.

4. Evaporator: akan melakukan penyerapan panas dari udara kabin sehingga refrigeran menguap menjadi gas.

2.7 Rumus-Rumus Perhitungan Karakteristik Mesin Kompresi Uap

Dalam menganalisis kinerja mesin dengan siklus kompresi uap, diperlukan beberapa rumus perhitungan penting, antara lain untuk menentukan kerja kompresor, kalor yang dilepas kondensor per satuan massa refrigeran, kalor yang diserap

evaporator per satuan massa refrigeran, COP_{aktual} , COP_{ideal} , efisiensi sistem, serta laju aliran massa refrigeran.

a. Kerja kompresor (W_{in})

Besar kerja dari kompresor per satuan massa *refrigerant* dapat dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan 2.1.

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

Keterangan:

W_{in} : kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* (kJ/kg)

h_1 : entalpi *refrigerant* saat masuk ke kompresor (kJ/kg)

h_2 : entalpi *refrigerant* saat keluar ke kompresor (kJ/kg).

b. Kalor yang dilepas kondensor (Q_k)

Besar dari kalor per satuan massa *refrigerant* yang dilepas kondensor dapat dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan 2.2.

$$Q_k = h_2 - h_3 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

Q_k : besar kalor persatuan massa refrigeran yang dilepas kondensor (kJ/kg)

h_2 : entalpi *refrigerant* saat keluar kompresor (kJ/kg)

h_3 : entalpi *refrigerant* saat masuk kompresor (kJ/kg).

c. Kalor yang diserap evaporator (Q_e)

Besar dari kalor per satuan massa *refrigerant* yang diserap evaporator dapat dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan 2.3.

$$Q_e = h_1 - h_4 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

Q_e : besar kalor persatuan massa *refrigerant* yang diserap evaporator (kJ/kg)

h_1 : entalpi *refrigerant* saat masuk kompresor (kJ/kg)

h_4 : entalpi *refrigerant* saat masuk evaporator (kJ/kg)

d. *Coefficient Of Performance* (COP_{aktual})

COP biasanya digunakan untuk menyatakan performa dari siklus refrigerasi. Semakin besar COPnya suatu mesin pendingin maka akan semakin baik mesin pendingin tersebut. COP tidak mempunyai satuan karena merupakan perbandingan antara dampak refrigerasi (h_1-h_4) dengan kerja kompresor (h_2-h_1) dinyatakan dalam rumus Persamaan 2.4.

$$COP_{\text{aktual}} = \frac{Q_e}{W_{in}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

COP_{aktual} : Koefisien prestasi mesin AC mobil actual

Q_e : Energi kalor yang diserap evaporator (kJ/kg).

W_{in} : Kerja yang dilakukan kompresor persatuan massa *refrigerant* (kJ/kg)

e. *COP ideal (Coefficient Of Performance)*

Besar dari nilai koefisien yang menyatakan performa dalam posisi ideal pada siklus kompresi uap dapat dihitung dengan rumus Persamaan 2.5.

$$COP_{\text{ideal}} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

COP_{ideal} : Koefisien prestasi maksimum mesin AC mobil.

T_e : Suhu mutlak dari evaporator (K)

T_c : Suhu mutlak dari kondensor (K)

f. Efisiensi mesin AC mobil

Besar dari nilai efisiensi mesin AC mobil dapat kita hitung dengan menggunakan rumus Persamaan 2.6.

$$\eta = \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

COP_{ideal} : Koefisien prestasi maksimum dari mesin AC mobil.

COP_{aktual} : Koefisien prestasi dari mesin AC mobil actual.

g. Laju aliran massa *refrigerant*

Besar dari laju aliran massa *Refrigerant* dapat kita hitung dengan mempergunakan rumus Persamaan 2.7.

$$\dot{m} = \frac{\frac{V \times I}{1000}}{W_{in}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$\dot{m}$: Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

V : Voltase dari kompresor (v)

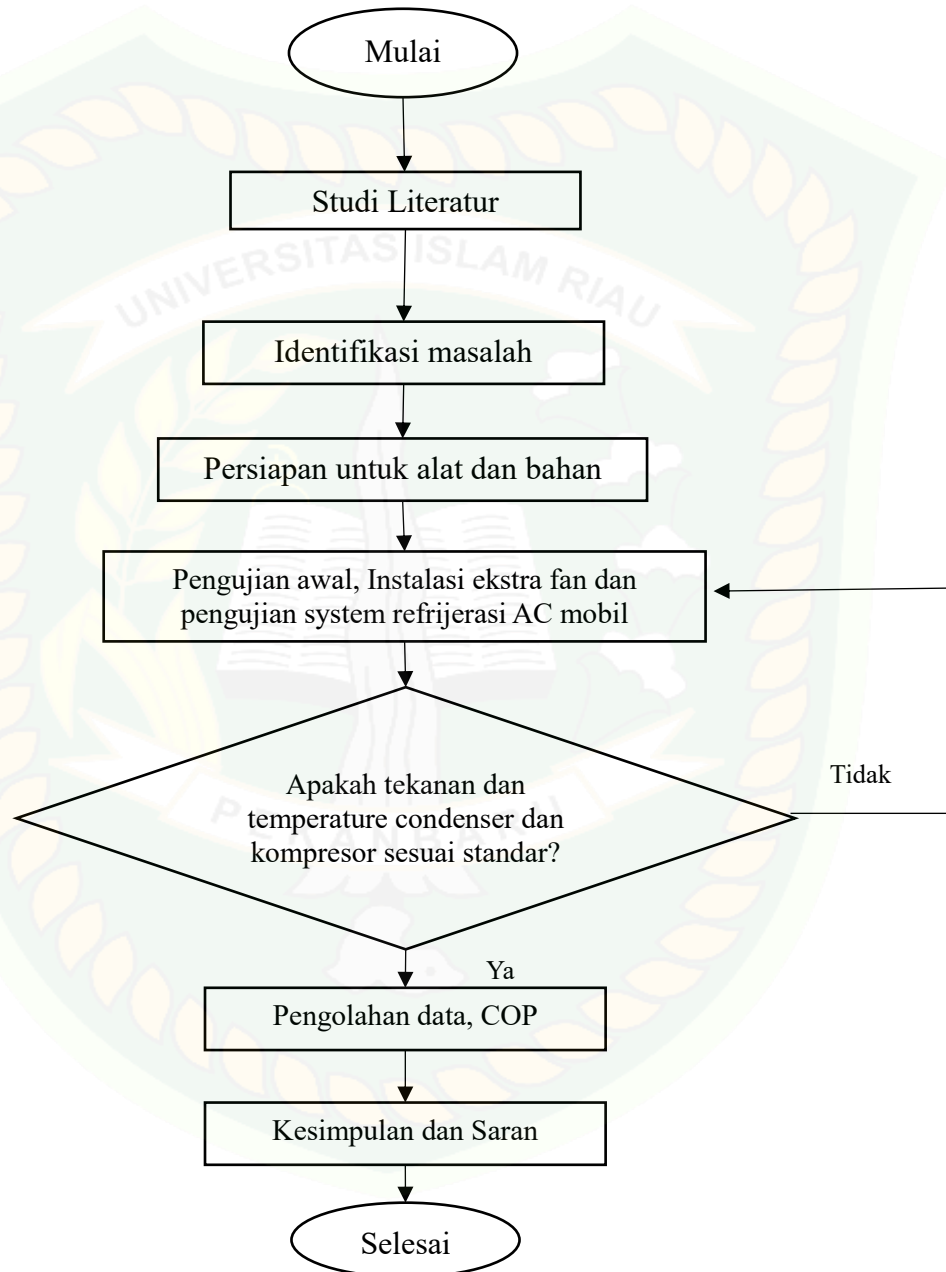
I : Arus dari kompresor (*ampere*)

W_{in} : Kerja yang dilakukan kompresor persatuan massa *refrigerant* (kJ/kg)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Waktu Pelaksanaan

Untuk penelitian terkait analisis COP (*Coefficient of Performance*) Pada Penambahan Kipas Pendingin Kondensor AC Mobil Diesel Kapasitas 2400cc. Penelitian ini akan dilaksanakan dibengkel AC SURYA MITRA.

Penelitian ini dilakukan selama lebih kurang 3 bulan, yaitu dimulai pada bulan Juli sampai September 2025. Dan pengambilan data dilakukan pada mesin pendingin dengan *Refrigerant* R-134. Dengan penelitian ini diharapkan mengetahui akar permasalahan yang terjadi, serta melakukan tindak lanjut yang tepat dalam menangani masalah tersebut.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Bahan

1. 1 unit mobil

Pada penelitian kali ini menggunakan 1 unit mobil sebagai bahan percobaan dengan menggunakan Mobil Diesel kapasitas 2400cc



Gambar 3. 2 Mobil Diesel Pajero Type Gls

2. Komponen Utama pada AC

a. Kompresor

Kompresor digunakan untuk penelitian, sistem ini adalah kompresor buatan Denso Sanden 507 dengan tegangan kerja 12 Volt, sesuai dengan sistem kelistrikan mobil. Kompresor tipe ini termasuk ke dalam kompresor piston (*reciprocating compressor*) yang digerakkan oleh sabuk (*belt*) yang terhubung ke mesin kendaraan.



Gambar 3. 3 Kompresor

b. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk alat penukar kalor, menurunkan temperatur refrigeran, serta mengubah wujud refrigeran dari berbentuk gas jadi cair, kondensor mobil pajero memiliki ukuran panjang 540mm, lebar 530mm dan, tinggi 20mm



Gambar 3. 4 Kondensor

c. Kipas Listrik

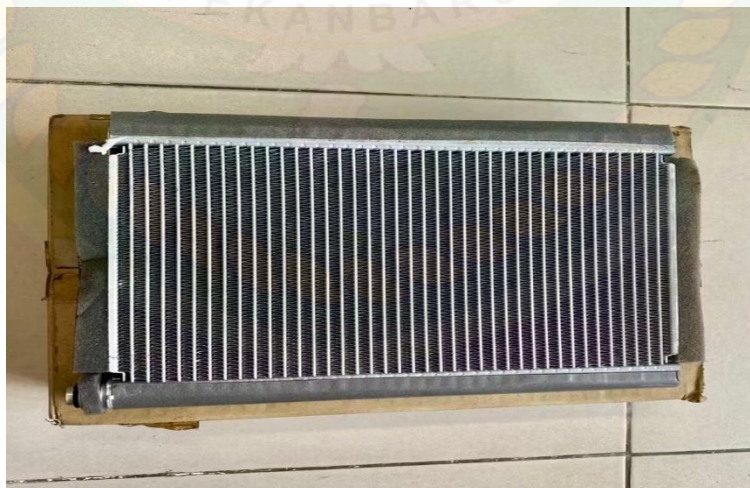
Kipas listrik berfungsi menghisap dan membuang udara yang dari luar lalu menyalurkan udara dari luar agar mendinginkan kondensor, kipas listrik yang digunakan berukuran 10 inchi dengan tegangan 12v



Gambar 3. 5 Kipas listrik

d. Evaporator

Evaporator berfungsi untuk menyerap dan memindahkan panasnya dari udara ke refrigeran. Selajutnya, setelah melewati pipa kapiler, refrigeran yang semula cair akan diubah menjadi gas, ukuran evaporator untuk Mobil Pajero yaitu panjang 273mm dan lebar 225mm.



Gambar 3. 6 Evaporator

1. Komponen Kelistrikan pada AC mobil

a. PCB Kontrol

PCB (*Printed Circuit Board*) kontrol pada AC menjadi pusat pengendali sistem elektronik yang berfungsi sebagai otak dari unit AC. Dan memiliki fungsi mengatur kecepatan *blower indoor*, menyalakan dan menonaktifkan AC, mengatur temperatur, dan masih banyak lagi.

b. Thermistor

Thermistor pada sistem AC adalah sensor suhu berbasis resistor yang nilai resistansinya berubah sesuai temperatur. Fungsinya memang sangat vital untuk mengatur kinerja kompresor secara otomatis.

c. Kapasitor

Kapasitor merupakan komponen elektronik yang memiliki fungsi untuk menyimpan muatan listrik yang sementara lalu melepaskannya dengan cepat ketika dibutuhkan. Fungsi lainnya seperti, sebagai starting kapasitor pada AC atau kompresor yaitu memberikan boost arus awal agar motor kompresor atau kipas bisa berputar.

d. Overload Motor Protector

Overload Motor Protector (OMP) adalah alat pengamanan otomatis yang melindungi kompresornya dari kerusakan akibat kondisi kerja yang tidak normal. Komponen ini banyak dipakai pada kompresor hermetik di sistem AC, baik AC rumah maupun AC mobil. Fungsi utama dari alat ini yaitu: melindungi kompresor dari arus lebih (*over current*), mencegah *overheating* yang dapat merusak lilitan motor, dan memperpanjang umur kompresor.

e. Pipa kapiler

Refrigerant cair bertekanan tinggi melewati pipa kapiler ukuran kecil dan panjang → kecepatannya meningkat → tekanannya ikut turun → sebagian refrigeran mulai berubah fase menjadi campuran cair-gas sebelum masuk ke evaporator.

3.2.2 Bahan Eksperimen

1. Refrigerant R-134a

Refrigerant R-134a merupakan *refrigerant* sintetis yang kita gunakan untuk bahan yang digunakan dalam percobaan sebagai media pendingin. R-134a banyak digunakan untuk AC mobil, kulkas dan pendingin ruangan.

3.3 Peralatan Pengujian

a. Gauge Manifold

Gauge manifold merupakan alat dipergunakan mengukur dan memantau tekanan didalam AC serta membantu proses servis refrigeran. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama: gauge tekanan rendah (*low side*), gauge tekanan tinggi (*high side*), selang penghubung, dan katup kontrol. Alat ini digunakan untuk mendapatkan tekanan *low pressure* dan *high pressure* dalam satuan bar.



Gambar 3. 7 Gauge Manifold

b. Tang Ampere

Tang ampere (Clamp Meter / Current Clamp) adalah alat pengukur arus listrik tanpa harus memutus rangkaian. Alat ini digunakan untuk mengukur arus listrik kompresor dan untuk mengetahui arus kerja motor kompresor agar tidak melebihi spesifikasi, Tang ampere yang digunakan yaitu tang ampere fluke 376



Gambar 3. 8 Tang Ampere

c. Termometer Ruangan

Thermometer pada sistem AC dan mesin refrigerasi dipergunakan untuk mengukur temperatur udara masuk dan keluar dari kondensor dan menentukan berapa suhu yang ingin diukur. Termometer yang digunakan adalah termometer GM 320.



Gambar 3. 9 Termometer

d. Thermokopel dan APPA

Thermokopel (*Thermocouple*) adalah pendeteksi suhu yang dapat mengubah suhu menjadi sinyal listrik sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk angka digital pada alat ukur, mempergunakan Tipe APPA-51. Alat ini akan kita gunakan dalam mengukur temperatur udara yang masuk dan udara keluar dari evaporator dan mengukur suhu refrigeran pada saluran hisap dan buang pada kompresor AC mobil.



Gambar 3. 10 Termokopel dan Alat Penampil Suhu Digital

e. Higrometer

Higrometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kelembaban udara, dan pada beberapa jenis juga dapat digunakan untuk mengukur suhu udara basah (*wet bulb*) dan suhu udara kering (*dry bulb*). Alat ini digunakan untuk mengukur kelembaban udara dan mengevaluasi performa AC.



Gambar 3. 11 Higrometer

f. Pompa Vacuum

Pompa vacuum ini digunakan untuk menghisap refrigeran lama dari kompresor untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan untuk mengisi ulang refrigeran ke kompresor



Gambar 3. 12 Pompa Vakum

g. Peralatan kerja pendukung

1. Kunci pas
2. Kunci Inggris
3. Kunci L
4. Tang
5. Obeng

3.4 Metode Pengujian

Untuk dapat mengoperasikan alat pengujian dapat melakukan tahap yang sesuai dibawah ini agar terhindar dari kesalahan yang dapat membuat komponen dan peralatan menjadi rusak atau tidak bisa dipergunakan dan mendapatkan hasil yang memuaskan. Sebelum pegujian ini dilaksanakan, ada baiknya mempersiapkan hal-hal sebagai berikut:

1. Memastikan AC mobil pada penelitian berkerja dengan baik.

2. Membersihkan alat-alat dari AC mobil dari debu dan kotoran lainnya.
3. Memeriksa alat ukur yang dipergunakan apakah berfungsi dengan baik.
4. Menghubungkan *Heater Solder* dengan pipa *Low Pressure Evaporator*.
5. Memeriksa instalasi pada alat penelitian agar dapat dipergunakan.

3.5 Prosedur Pengambilan data

Untuk tahap pengambilan data ini dapat dilaksanakan setelah melakukan tahapan persiapan tidak ada kendala. Untuk pengambilan data dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan mobil dan peralatan yang dipergunakan untuk pengujian.
2. Menghubungkan *Manifold Gauge*, *Thermo Couple* serta *Thermometer Digital* ke sistem AC mobil
3. Menyalakan mesin mobil selanjutnya menyalakan AC dengan menekan tombol “ON” pada panel di mobil.
4. Mencatat suhu awal di ruangan kabin, baca tekanan refrigeran pada *High Pressure*, *Low Pressure* di *Manifold Gauge* dan baca suhu awal refrigeran dengan menggunakan *Thermometer Digital* atau *Thermo Couple*.
5. Tekanan pada saat normal

Tabel 3. 1 Tekanan pada saat normal

no	Pengujian	Tek. Low pressure (Lp)	Tek.high pressure (Hp)	Temp.komp.	Temp.kond.	Evaporator
1	Pengujian waktu 10 menit					
2	Pengujian waktu 30 menit					

6. Tekanan pada saat tidak normal atau *overload*

Tabel 3. 2 Tekanan pada saat tidak normal atau overload

No.	Pengujian	Tekanan Low presure (Lp)	Tekanan high presure (Hp)	Temp.komp.	Temp.kond.	Evaporator
1	Pengujian waktu 10 menit					
2	Pengujian waktu 30 menit					

7. Tekanan pada penambahan kipas listrik (*extrafan*)

Tabel 3. 3 Tekanan pada penambahan kipas listrik (ekstra fan)

no	Pengujian	Tekanan lowpresure(Lp)	Tekanan highpresure(Hp)	Temp.komp.	Temp.kond.	Evaporator
1	Pengujian waktu 10 menit					
2	Pengujian waktu 30 menit					

3.6 Tabel Jadwal Penelitian

Berikut adalah tabel jadwal penelitian tugas akhir, dapat dilihat pada tabel :

Tabel 3. 4 Jadwal penelitian

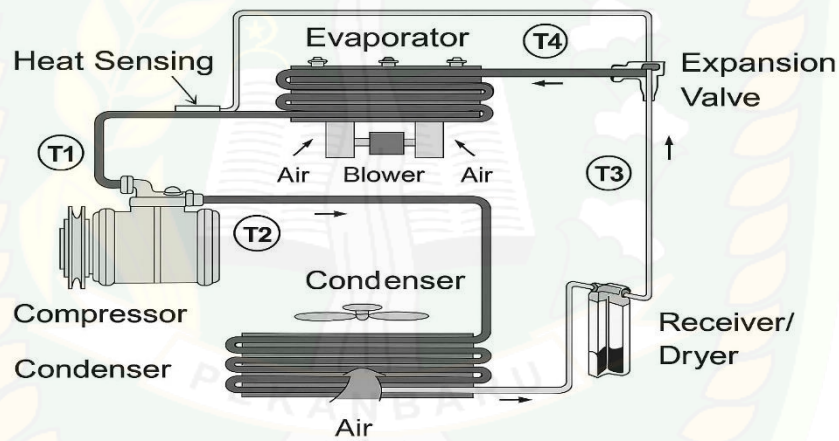
No.	Nama Kegiatan	Bulan (<i>Month</i>)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	Pengajuan Judul								
2	Studi Literatur								
3	Penulisan Proposal								
4	Seminar Proposal								
5	Persiapan alat &bahan								
6	Penelitian &Eksperimen								
7	Analisa Data								
8	Ujian Skripsi								

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Untuk penelitian yang telah dilakukan pada AC mobil Diesel berkapasitas 2400cc dengan tambahan kipas pendingin pada kondensor menghasilkan pengukuran berupa tekanan dari *Refrigerant* saat ke dalam kompresor (P_1), tekanan *Refrigerant* saat keluar dari kompresor (P_2), suhu *Refrigerant* dari evaporator ke kompresor (T_1), suhu *Refrigerant* dari kompresor mengarah ke kondensor (T_2), suhu *Refrigerant* dari kondensor mengarah ke pipa kapiler (T_3), suhu ruangan di evaporator (T_4), arus listrik (I), dan tegangan pada kompresor (V).



Gambar 4. 1 Diagram siklus refrigerasi pada sistem pendingin udara mobil dengan penunjukan titik suhu T_1 – T_4

(Sumber: Birch, 2019)



Gambar 4. 2 Pengujian Suhu dan Tekanan

Pengujian ini dilakukan dalam tiga variasi dengan kondisi yang berbeda, dimana data pertama yaitu data pada saat keadaan normal yang terlampir pada tabel 4.1, data kedua yaitu data pada saat keadaan overload atau tidak normal dengan waktu berbeda dari normal yang terlampir pada tabel 4.2, dan data ketiga yaitu data pada saat keadaan ditambahkan kipas pendingin di kondensor pada tabel 4.3.

Tabel 4. 1 Data pada saat keadaan normal

No	Waktu (Menit)	Tekanan (bar)		Suhu (°C)				Arus (A)	Tegangan(V)	Putaran (Rpm)
		P ₁	P ₂	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄			
1	10	2.41	12,9	80	60	45	7	6.6	12	900
2	30	4.48	20.68	80	65	32.5	15	6.6	12	900



Gambar 4. 3 Kondensor tanpa kipas pendingin

Dipercobaan 4.2 ini mesin mobil dalam keadaan tidak normal atau overload, dengan waktu 40 menit setelah dihidupkan dari keadaan normal dan 70 menit selanjutnya sehingga didapatkan data yang dibawah ini.

Tabel 4. 2 Data pada keadaan tidak normal atau overload

No	Waktu (Menit)	Tekanan (bar)		Suhu (°C)				Arus (A)	Tegangan(V)	Putaran (Rpm)
		P ₁	P ₂	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄			
1	10	4.48	20.68	80	65	32.5	15	6.6	12	900
2	30	4.82	25.85	90	75	50	17.5	6.6	12	900

Dipercobaan 4.3 kondensor telah ditambahkan kipas pendingin, dan dipercobaan ini data diambil saat mesin hidup selama 10 menit dan 30 menit dan didapatkan data sesuai tabel dibawah ini.

Tabel 4. 3 Data pada saat penambahan kipas pendingin

No	Waktu (Menit)	Tekanan (bar)		Suhu (°C)				Arus (A)	Tegangan(V)	Putaran (Rpm)
		P ₁	P ₂	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄			
1	10	2.41	12.9	80	60	45	7	6.6	12	900
2	30	2.41	12.9	80	60	45	7	6.6	12	900



Gambar 4. 4 Penambahan Kipas Pendingin (Extra Fan)

Data hasil penelitian yang telah dilaksanakan kemudian digunakan kembali untuk melihat nilai entalpi pada masing-masing kondisi mesin AC mobil (h_1 , h_2 , h_3 , dan h_4) dengan satuan (kJ/kg). Nilai entalpi diperoleh mencari dengan diagram P-h (diagram Hubungan tekanan dan Entalpi ke refrigeran) dengan tipe refrigeran yang menggunakan R-134a. Hasil nilai entalpi terdapat pada Tabel 4.4 pada saat keadaan normal, Tabel 4.5 pada saat keadaan overload, dan Tabel 4.6 pada saat penambahan kipas pendingin.

Tabel 4. 4 Pada saat keadaan normal

No.	Waktu (Menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)			
		h_1	h_2	h_3	h_4
1	10	410	460	268	268
2	30	415	445	290	290

Tabel 4. 5 Pada saat keadaan tidak normal atau overload

No.	Waktu (Menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)			
		h_1	h_2	h_3	h_4
1	10	415	445	290	290
2	30	415	450	322	322

Tabel 4. 6 Pada saat penambahan kipas pendingin

No.	Waktu (Menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)			
		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄
1	10	410	460	268	268
2	30	410	460	268	268

Untuk Nilai entalpi yang didapatkan dari diagram P-h dengan refrigeran R-134a digunakan untuk perhitungan pada mesin siklus kompresi uap AC mobil Diesel. Dari perhitungan tersebut mencakup karakteristik siklus kompresi uap pada AC, yaitu kerja kompresor, panas yang dilepaskan oleh kondensor per satuan massa refrigeran, panas yang diserap oleh evaporator per satuan massa refrigeran, COP_{actual}, COP_{ideal}, efisiensi, serta laju aliran massa

1. Kerja kompresor (Win)

Kerja kompresor (Win) dapat dihitung dari rumus yang ada pada persamaan 2.1. Yang ada pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan kerja kompresor dapat dilihat pada tabel 4.7 sebagai berikut.

- Keadaan Normal
 - a. Menit ke-10 : $h_2 - h_1 = 460 - 410 = 50 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_2 - h_1 = 445 - 415 = 30 \frac{kJ}{kg}$
- Keadaan tidak normal atau *overload*
 - a. Menit ke-10 : $h_2 - h_1 = 445 - 415 = 30 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_2 - h_1 = 450 - 415 = 35 \frac{kJ}{kg}$
- Keadaan Saat Penambahan Kipas Pendingin Kondensor (*Extra Fan*)
 - a. Menit ke-10 : $h_2 - h_1 = 460 - 410 = 50 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_2 - h_1 = 460 - 410 = 50 \frac{kJ}{kg}$

Tabel 4. 7 Kerja Kompresor (Win)

No.	Waktu (Menit)	Kerja Kompresor (kJ/kg)		
		Normal	Overload	Extra Fan
1	10	50	30	50
2	30	30	35	50
Rata-rata		40	32,5	50

2. Kalor yang dilepas kondensor (Q_{out})

Kalor yang dilepas kondensor (Q_{out}) dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada 2.2. Yang ada pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan kalor yang dilepas kondensor (Q_{out}) dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

- Keadaan Normal
 - a. Menit ke-10 : $h_2 - h_3 = 460 - 268 = 192 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_2 - h_3 = 445 - 290 = 155 \frac{kJ}{kg}$
- Keadaan *Overload*
 - a. Menit ke-10 : $h_2 - h_3 = 445 - 290 = 155 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_2 - h_3 = 450 - 322 = 128 \frac{kJ}{kg}$
- Keadaan Saat Penambahan Kipas Pendingin Kondensor (*Extra Fan*)
 - a. Menit ke-10 : $h_2 - h_3 = 460 - 268 = 192 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_2 - h_3 = 460 - 230 = 192 \frac{kJ}{kg}$

Tabel 4. 8 Kalor yang dilepas kondensor (Q_{out})

No.	Waktu (Menit)	Kalor yang dilepas kondensor (kJ/kg)		
		Normal	Overload	Extra Fan
1	10	192	155	192
2	30	155	128	192
Rata-rata		173,5	141,5	192

3. Kalor yang diserap evaporator (Q_{in})

Kalor yang diserap evaporator (Q_{in}) dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada 2.3. Yang terdapat pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan kalor yang diserap evaporator (Q_{in}) dapat dilihat pada tabel 4.9 sebagai berikut.

- Keadaan Normal
 - a. Menit ke-10 : $h_1 - h_4 = 410 - 268 = 142 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_1 - h_4 = 415 - 290 = 125 \frac{kJ}{kg}$
- Keadaan *Overload*
 - a. Menit ke-10 : $h_1 - h_4 = 415 - 290 = 125 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_1 - h_4 = 415 - 322 = 93 \frac{kJ}{kg}$
- Keadaan Penambahan Kipas Pendingin
 - a. Menit ke-10 : $h_1 - h_4 = 410 - 268 = 142 \frac{kJ}{kg}$
 - b. Menit ke-30 : $h_1 - h_4 = 410 - 268 = 142 \frac{kJ}{kg}$

Tabel 4. 9 Kalor yang diserap evaporator (Q_{in})

No.	Waktu (Menit)	Kalor yang diserap evaporator (kJ/kg)		
		Normal	<i>Overload</i>	<i>Extra Fan</i>
1	10	142	125	142
2	30	125	93	142
Rata-rata		133,5	109	142

4. COP_{actual} (*Coefficient of Performance*)

COP_{actual} *Coefficient of Performance* dapat dihitung menggunakan rumus pada 2.4. Yang terdapat pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan COP_{actual} dapat terlihat pada tabel 4.10 sebagai berikut.

- Keadaan Normal
 - a. Menit ke-10 : $\frac{Q_{in}}{w_{in}} = \frac{142 \text{ kJ/kg}}{50 \text{ kJ/kg}} = 2,84$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{Q_{in}}{w_{in}} = \frac{125 \text{ kJ/kg}}{30 \text{ kJ/kg}} = 4,1$$

- Keadaan *Overload*

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{Q_{in}}{w_{in}} = \frac{125 \text{ kJ/kg}}{30 \text{ kJ/kg}} = 4,1$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{Q_{in}}{w_{in}} = \frac{93 \text{ kJ/kg}}{35 \text{ kJ/kg}} = 2,65$$

- Keadaan Saat Penambahan Kipas Pendingin Kondensor (*Extra Fan*)

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{Q_{in}}{w_{in}} = \frac{142 \text{ kJ/kg}}{50 \text{ kJ/kg}} = 2,84$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{Q_{in}}{w_{in}} = \frac{142 \text{ kJ/kg}}{50 \text{ kJ/kg}} = 2,84$$

Tabel 4. 10 COP_{actual} (Coefficient of Performance)

No.	Waktu (Menit)	COP _{actual}		
		Normal	Overload	Extra Fan
1	10	2,84	4,16	2,84
2	30	4,16	2,65	2,84
Rata-rata		3,50	3,40	2,84

5. COP_{ideal} (Coefficient of Performance)

COP_{ideal} *Coefficient of Performance* dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada 2.5. Yang terdapat pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan COP_{ideal} dapat terlihat pada tabel 4.11 sebagai berikut.

- Keadaan Normal

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{T_E}{T_K - T_E} = \frac{268,15 \text{ K}}{52,68 \text{ K}} = 5,09$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{T_E}{T_K - T_E} = \frac{286,47 \text{ K}}{47,56 \text{ K}} = 6,02$$

- Keadaan *Overload*

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{T_E}{T_K - T_E} = \frac{286,47 \text{ K}}{47,56 \text{ K}} = 6,02$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{T_E}{T_K - T_E} = \frac{287,70 \text{ K}}{64,53 \text{ K}} = 4,45$$

- Keadaan Saat Penambahan Kipas Pendingin Kondensor (*Extra Fan*)

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{T_E}{T_K - T_E} = \frac{268,15 \text{ K}}{52,68 \text{ K}} = 5,09$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{T_E}{T_K - T_E} = \frac{268,15 \text{ K}}{52,68 \text{ K}} = 5,09$$

Tabel 4. 11 COP_{ideal} (Coefficient of Performance)

No.	Waktu (Menit)	COP _{ideal}		
		Normal	Overload	Extra Fan
1	10	5,09	6,02	5,09
2	30	6,02	4,46	5,09
Rata-rata		5,85	5,24	5,09

6. Efisiensi mesin AC mobil

Efisiensi mesin AC mobil dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada 2.6. Yang terdapat pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan efisiensi AC mobil dapat terlihat pada tabel 4.12 sebagai berikut.

- Keadaan Normal

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% = \frac{2,84}{5,09} \times 100\% = 55,79\%$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% = \frac{4,16}{6,02} \times 100\% = 69,10\%$$

- Keadaan *Overload*

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% = \frac{4,16}{6,02} \times 100\% = 69,10\%$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% = \frac{2,65}{4,45} \times 100\% = 59,41\%$$

- Keadaan Pada Saat Penambahan Kipas Pendingin Kondensor (*Extra Fan*)

$$a. \text{ Menit ke-10 : } \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% = \frac{2,84}{5,09} \times 100\% = 55,79\%$$

$$b. \text{ Menit ke-30 : } \frac{COP_{actual}}{COP_{ideal}} \times 100\% = \frac{2,84}{5,09} \times 100\% = 55,79\%$$

Tabel 4. 12 Efisiensi mesin AC mobil

No.	Waktu (Menit)	Efisiensi (%)		
		Normal	Overload	Extra Fan
1	10	55,79	69,10	55,79
2	30	69,10	59,41	55,79
Rata-rata		62,44	64,25	55,79

7. Laju aliran massa (m)

Laju aliran massa dapat dihitung menggunakan rumus yang ada pada 2.7. Yang terdapat pada tinjauan pustaka. Hasil perhitungan laju aliran massa dapat terlihat pada tabel 4.13

- Keadaan Normal
 - a. Menit ke-10 : $\frac{I \times V / 1000}{W_{in}} = \frac{0,0792}{50} = 0,00158 \text{ kg/s}$
 - b. Menit ke-30 : $\frac{I \times V / 1000}{W_{in}} = \frac{0,0792}{30} = 0,00264 \text{ kg/s}$
- Keadaan *Overload*
 - a. Menit ke-10 : $\frac{I \times V / 1000}{W_{in}} = \frac{0,0792}{30} = 0,00264 \text{ kg/s}$
 - b. Menit ke-30 : $\frac{I \times V / 1000}{W_{in}} = \frac{0,0792}{35} = 0,00226 \text{ kg/s}$
- Keadaan Pada Saat Penambahan Kipas Pendingin Kondensor (*Extra Fan*)
 - a. Menit ke-10 : $\frac{I \times V / 1000}{W_{in}} = \frac{0,0792}{50} = 0,00158 \text{ kg/s}$
 - b. Menit ke-30 : $\frac{I \times V / 1000}{W_{in}} = \frac{0,0792}{50} = 0,00158 \text{ kg/s}$

Tabel 4. 13 Laju aliran massa (m)

No.	Waktu (Menit)	Laju aliran massa (kg/s)		
		Normal	<i>Overload</i>	<i>Extra Fan</i>
1	10	0,00158	0,00264	0,00158
2	30	0,00264	0,00226	0,00158
Rata-rata		0,00211	0,00245	0,00158

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap performa dari AC mobil. Pengujian ini dilakukan untuk menguji keadaan mesin AC mobil saat keadaan normal (memiliki tekanan 175-200), keadaan tidak normal atau *overload*, dan keadaan pada saat penambahan *extra fan* di kondensor. Pengujian yang dilakukan adalah mengukur besarnya tekanan (P), suhu (T), Arus (I) dan tegangan (V) pada mesin AC mobil saat keadaan mobil sedang tidak bergerak. Pengukuran dilakukan pada menit ke-10 saat

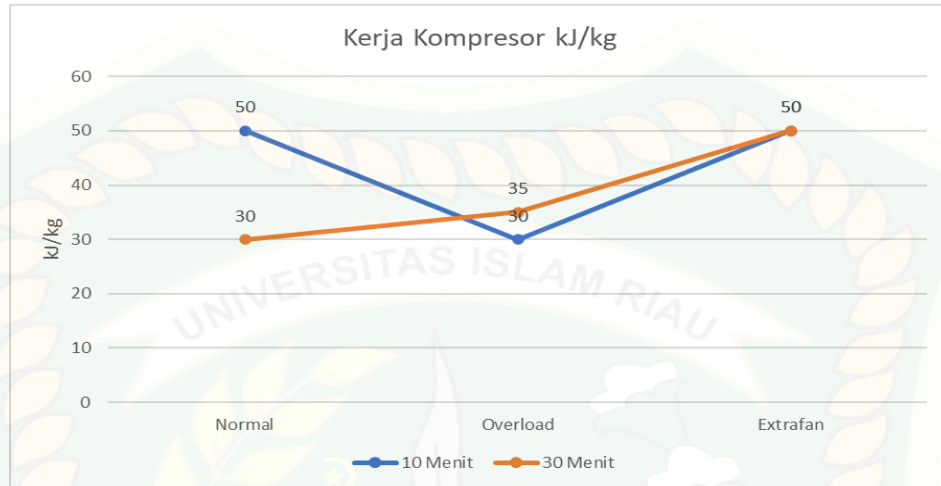
keadaan mesin AC mobil masih normal, hingga diperoleh kondisi tidak normal atau *overload* dimana keadaan tekanan dan suhu mengalami peningkatan. Kondisi *overload* telah mulai terlihat pada menit ke-40, sehingga kondisi *overload* ini sudah dapat diukur suhu dan tekanan pada waktu 10 dan 30 menit setelahnya. Pengukuran dalam kondisi *extra fan* dilakukan setelah mesin mobil di non-aktifkan, kemudian dilakukan pembersihan pada kondensor serta pemasangan kipas pendingin eksternal di kondensor tersebut. Mesin mobil kemudian di aktifkan kembali dan pengukuran suhu dan tegangan pada kondisi penambahan *extra fan* ini dapat diukur pada menit ke-10 dan ke-30.

Berdasarkan data hasil penelitian di mesin AC mobil yang terlampir di tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 memperlihatkan yakni tekanan masuk kompresor dan keluar kompresor mengalami peningkatan di saat kondisi normal hingga kondisi *overload*. Suhu masuk awal kompresor pada menit ke-10 yakni 7°C dan pada saat *overload* suhu yang masuk ke kompresor menjadi 15°C, hal ini disebabkan karena kurangnya efektifitas kerja dari kondensor AC mobil pada saat keadaan diam, dimana kipas pendingin (*engine fan*) tidak mampu mengatasi panas pada kondensor tersebut. Pada saat kipas pendingin ditambahkan ke kondensor, suhu yang masuk masuk dan keluar pada kompresor terjadi penurunan yakni kembali ke suhu normal (suhu masuk 7°C), hal ini dapat dikatakan bahwa penambahan kipas pendingin (*extra fan*) pada kondensor mampu menaikkan kinerja mesin AC mobil dalam kondisi diam.

Data hasil penelitian terhadap mesin AC yang tercantum pada tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 terlihat bahwa penambahan kipas pendingin (*extra fan*) pada kondensor sangat mempengaruhi tekanan kompresor saat tekanan masuk maupun tekanan keluar kompresor. Penambahan *extra fan* menyebabkan aliran udara yang melalui kondensor akan meningkat, sehingga tekanan masuk ke kompresor dan tekanan keluar pada kompresor semakin kecil, ini akan mempengaruhi kerja yang telah dilakukan oleh kondensor dan evaporator. Sehingga tekanan, suhu, dan entalpi akan berubah. Penambahan *extra fan* akan berdampak pada kerja kompresor (W_{in}), parameter yang dianalisis pada mesin meliputi kalor yang dilepas kondensor (Q_{out}),

kalor yang diserap evaporator (Q_{in}), koefisien performa aktual (COP_{aktual}), koefisien performa ideal (COP_{ideal}), laju aliran massa refrigeran ($\dot{m}$), serta efisiensi sistem (η) AC mobil sehingga akan menyesuaikan perubahan yang terjadi.

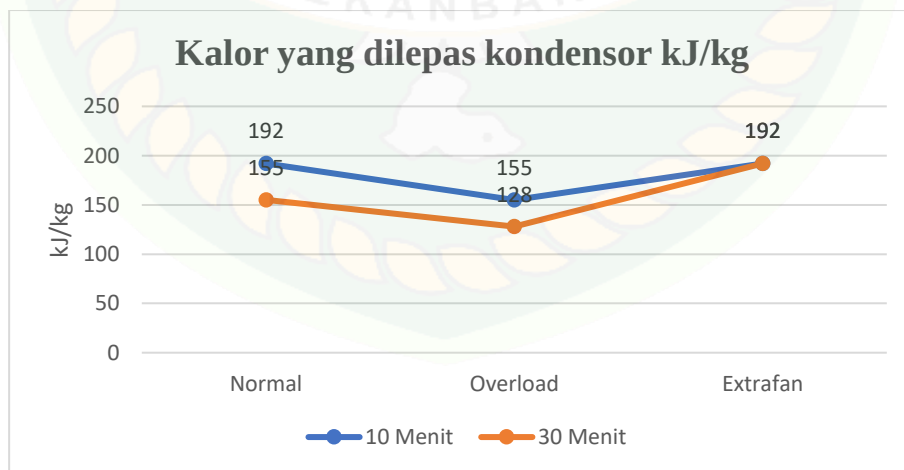
4.2.1 Pembahasan kerja kompresor (W_{in})



Gambar 4. 5 Grafik kerja kompresor

Terlihat pada grafik diatas diketahui besarnya kerja kompresor akan sangat mempengaruhi laju aliran dari mesin AC mobil, dengan penambahan extra fan kerja kompresor semakin meningkat berbeda dengan keadaan normal dan *overload*.

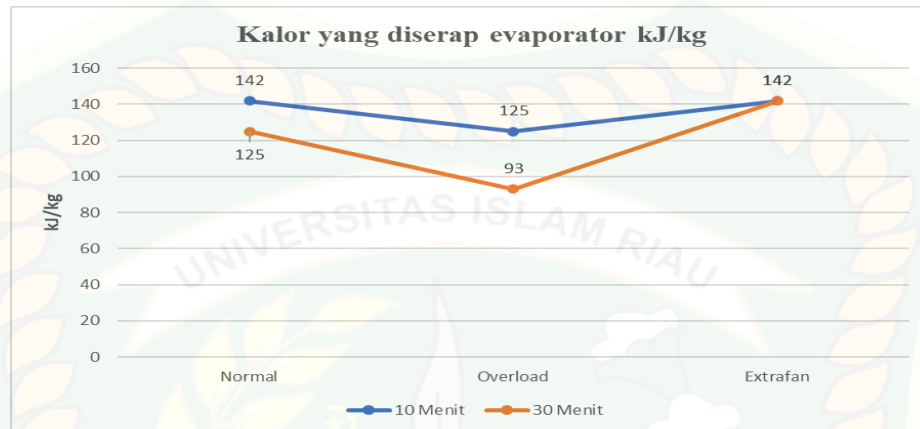
4.2.2 Pembahasan kalor yang dilepas kondensor



Gambar 4. 6 Grafik Kalor yang dilepas kondensor

Penambahan kipas pendingin mengakibatkan suhu kerja dari kondensor akan menurun. Suhu kerja kondensor yang menurun disebabkan oleh banyaknya kalor yang dilepas kondensor ke lingkungan semakin bertambah.

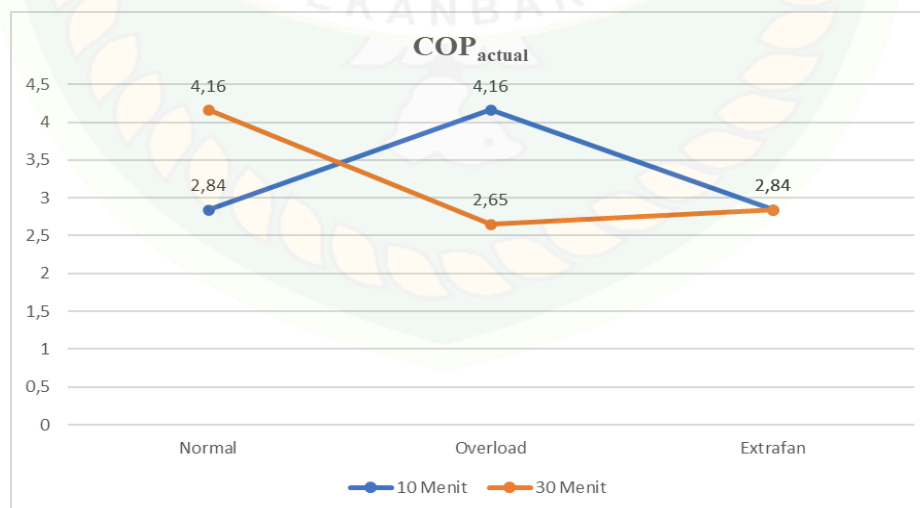
4.2.3 Pembahasan yang diserap evaporator



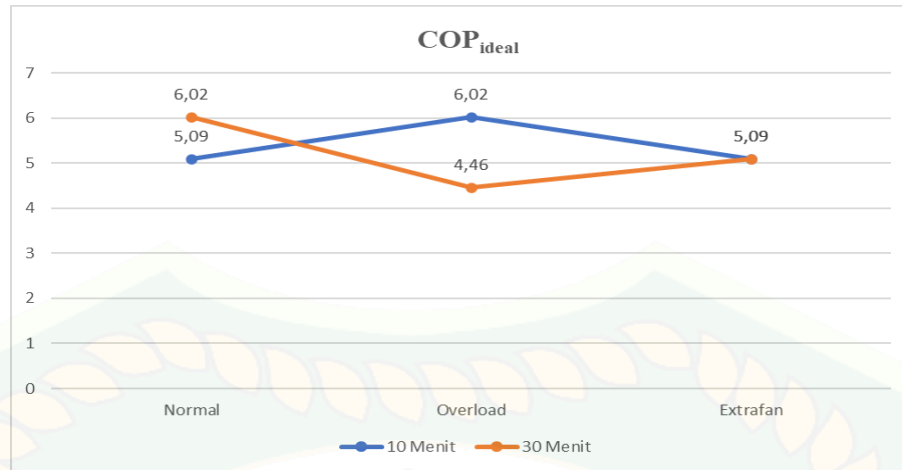
Gambar 4. 7 Grafik kalor yang diserap evaporator

Meningkatnya kalor yang dilepaskan dari kondensor karena pengaruh dengan menambahkan kipas pendingin di kondensor, sehingga menyebabkan meningkatnya kalor yang diserap evaporator sesuai dengan grafik diatas

4.2.4 Pembahasan COP_{actual}, dan COP_{ideal}



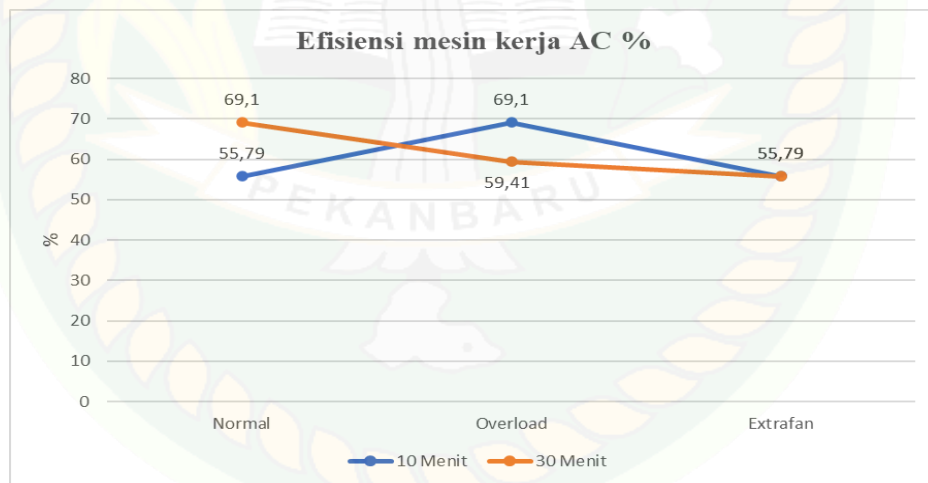
Gambar 4. 8 Grafik COP_{actual}



Gambar 4. 9 Grafik COP_{ideal}

Dari penelitian ini dapat ditunjukkan bahwa semakin cepat nilai aliran udara yang melewati kondensor semakin turun nilai dari COP_{actual} dan COP_{ideal} yang dicapai sama mesin AC mobil. Hal ini disebabkan oleh penambahan kerja input kedalam sistem berupa daya kipas pendingin kondensor.

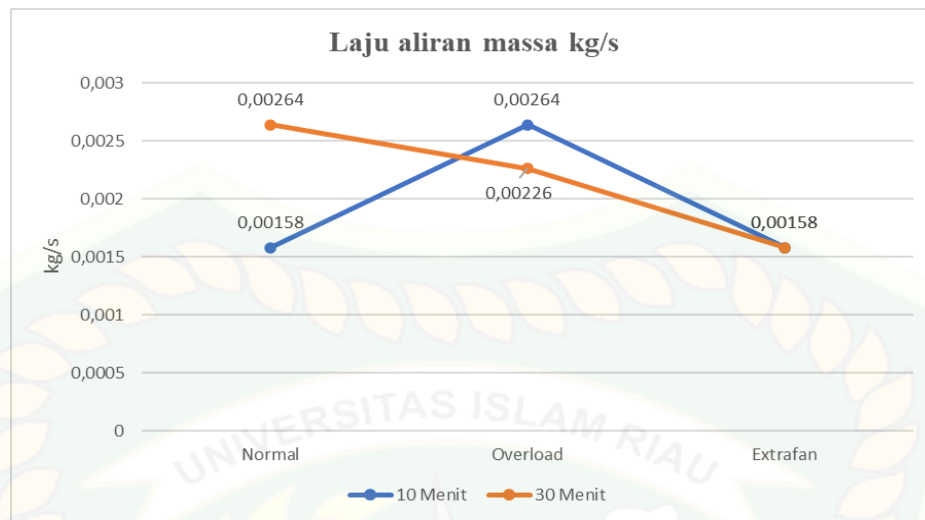
4.2.4 Pembahasan efisiensi mesin AC mobil



Gambar 4. 10 Grafik efisiensi mesin AC mobil

Penambahan *extra fan* di kondensor sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi mesin AC mobil. Hal ini terbukti setelah dilakukan penelitian dan menunjukkan dengan penambahan *extra fan* pada kondensor, sehingga efisiensi dari mesin AC mobil menjadi semakin menurun, terlihat pada gambar grafik

4.2.5 Pembahasan laju aliran massa



Gambar 4. 11 Grafik laju aliran massa

Besarnya kerja pada kompresor ini sangat berpengaruh untuk laju aliran massanya dari mesin AC mobil. Proses ini tegangan di kompresor dianggap sama dan hasil perhitungan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perubahan nilai karakteristik mesin AC mobil, menyebabkan nilai dari COP dan efisiensi akan berubah. Berikut Tabel 5.1 menyatakan rata-rata dari nilai COP serta efisiensi pada mesin AC mobil.

Tabel 5. 1 Rata-rata karakteristik mesin AC mobil

No	Kondisi	Karakteristik		
		COP _{actual}	COP _{ideal}	Efisiensi
1	Normal	3,50	5,85	62,44
2	<i>Overload</i>	3,40	5,24	64,25
3	<i>Extra Fan</i>	2,84	5,09	55,79

2. Faktor yang menyebabkan kompresor AC *overload* adalah kalor yang dilepas oleh kondensor kecil pada saat keadaan *idle*, sehingga menyebabkan kerja kompresor lebih besar. Salah satu faktor utama penyebabnya adalah pelepasan kalor oleh kondensor yang relatif kecil, terutama saat mesin berada dalam keadaan *idle*. Pada kondisi *idle*, putaran kipas pendingin dan aliran udara melalui kondensor cenderung berkurang sehingga proses pembuangan panas tidak optimal. Akibatnya, *Refrigerant* yang masuk ke kompresor masih memiliki temperatur serta tekanan yang cukup tinggi. Dengan demikian, *overload* pada kompresor AC umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan antara beban pendinginan yang dibutuhkan dengan kemampuan kondensor dalam melepaskan panas. Kondisi *idle* yang membatasi pelepasan kalor menjadi faktor dominan, karena secara langsung meningkatkan tekanan kerja sistem serta memperbesar beban yang harus ditanggung oleh kompresor.
3. Pengoperasian AC mobil ketika mesin dalam keadaan *idle* dilakukan dengan menambahkan komponen tambahan yaitu *Extra Fan* pada Kondensor. Pada saat

mesin mobil berada dalam kondisi idle, kinerja sistem AC seringkali menurun akibat terbatasnya aliran udara yang melewati kondensor, sehingga proses pelepasan panas tidak optimal. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penambahan komponen tambahan berupa *extra fan* pada kondensor. Kehadiran *extra fan* ini berfungsi untuk meningkatkan laju sirkulasi udara di sekitar kondensor, sehingga pelepasan kalor dapat berlangsung lebih efektif meskipun putaran mesin rendah. Dengan demikian, kinerja pendinginan AC dapat tetap terjaga dalam berbagai kondisi operasi, termasuk ketika kendaraan tidak bergerak.

5.2 Saran

Pada penelitian ini terdapat kendala terhadap proses pengambilan data, dimana waktu dipergunakan untuk pengambilan data pada AC mobil ini hanya dalam waktu hari. Jumlah waktu yang ideal dalam pengambilan data ini minimal selama dua hari, agar perlakuan terhadap AC mobil dapat dilakukan secara maksimal. Sebelum menambahkan *Extra Fan* sebaiknya dilakukan pembersihan terhadap kisi-kisi kondensor dan radiator terlebih dahulu, agar angin yang keluar dari *extra fan* dapat masuk ke dalam kondensor sehingga panas didalam kondensor dapat di minimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

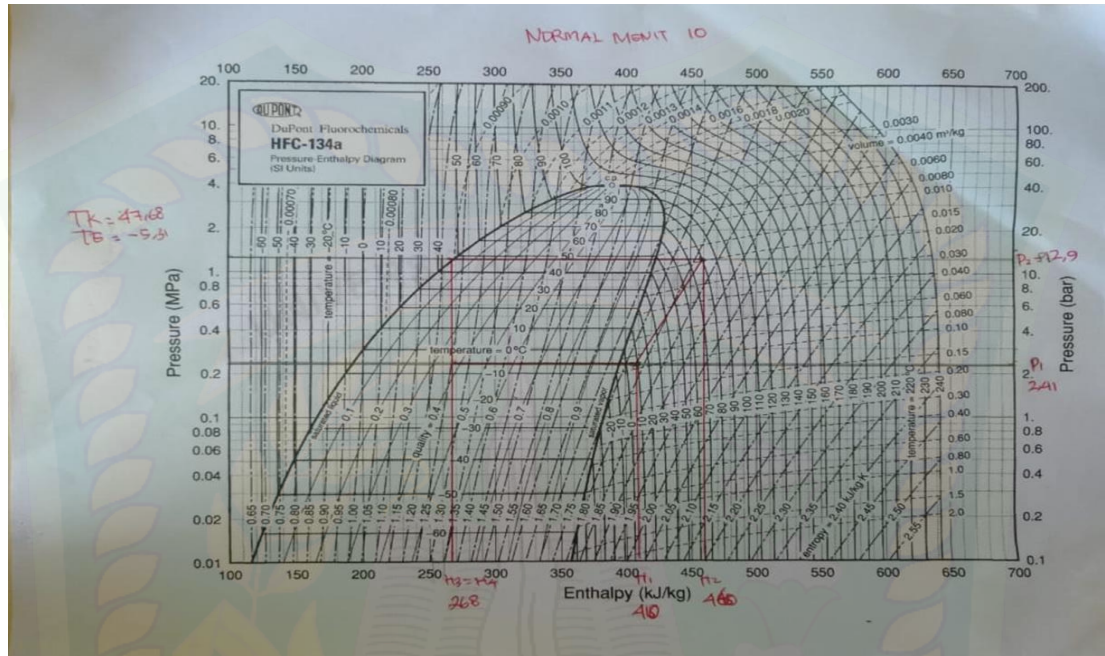
- Aminanta, A.F., dan D Ichsan. (2016). Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas Untuk Memanfaatkan Refrigerant Keluar Kompresor AC Sebagai Pemanas Air Pada ST/D=6 Dengan Variasi Volume Air. Jurnal Teknik Institute Teknologi Sepuluh November. 5 (2):647-652.
- Arikunto, S. (2013). Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Pktik. Jakarta : Rienka Cipta
- Aziz, A., H. Ginting, N. Hatorangan, dan W. Rahman. (2014). Analisis Kinerja Air conditioning Sekaligus sebagai Water Heater (ACWH). Jurnal Universitas Of Riau. 6 (1): 1-6.
- Aziz, A ., Hanif (2014). Penggunaan Refigerant Hidrokarbon Pada Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Hibrida Dengan Memanfaatkan Panas Buang Perangkat Pengkondisian Udara. ISSN 1829-8958: vol (5). No (1).
- Hartanto, B.H. dan A. Aziz. (2014). Pengaruh Alat Ekspansi Terhadap temperatur dan Tekanan Pada Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap. Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik. 1 (2): 1-7.
- Haryanto, Heri (2011). Pembuatan Modul Inverter Sebagai Kendali Kecepatan Putaran Motor Induksi. Jurnal Ilmiah Vol 4 No.1, pp. 149-159
- Sagoro, Danang Tri (2017). Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Kerjo Kompresor terhadap Perfomansi Sistem AC Pada Mobil Daihatsu. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Nusantara PGRI Kediri Tahun 2017.
- Santoso, J, S. 2010. Analisis Perbandingan Konsumsi Listrik Pada AC Split Berbahan Pendingin R-22 Dengan AC Split Berbahan MC-22.
- Setyawan, D. L., dan E. Widodo. (2016). Varian Media Pendingin Kondensor Terhadap Rasio Pelepasan Kalor dan Coefisien Of Performance (COP) Pada Mesin Pendingin. Jurnal Rotor. Khusus (1) : 18-21.
- Sinaga , N. d. (2013). Rancang Bangun Sistem Penyalaan AC Mobil Dari Jarak Jauh Menggunakan Mikrokontroler. Jurnal Teknik Mesin, 202.

- Siregar, I. A. R., A. Aziz., dan R. I Mainil. 2016. Pengaruh Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler Terhadap Temperatur dan Tekanan Pada Mesin Pendingin Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran HCR-13A.
- Sorokes, James M., Harry F. Miller, Jay M. Koch (2016). The Consequences Of Compressor Opretaion In Overload. Proceodings Of The Thirty- Fifth turbomachienery Symposium.
- Sugiyono. (2014). Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Syahyuniar, Rusmianto, yuliana Ningsih, Ridho Dwi Kurniawan (2018). Perancangan Sistem kerja Simulator AC (Air Conditioner) Mobil. Jurnal Elemen Volume Nomor 1, Juni 2018.
- Yunus A. Cengel., Michael A. Boles., Mehmet Kanoglu (2014). Thermodynamics An Engineering Approach Ninth Edition

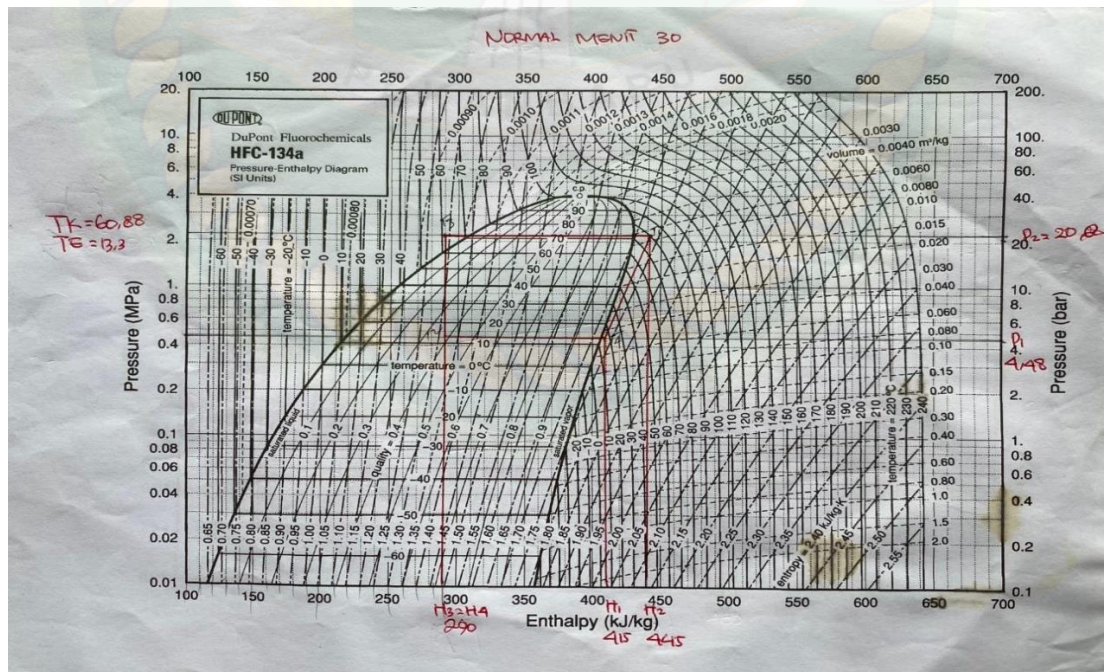
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram P-h R134a

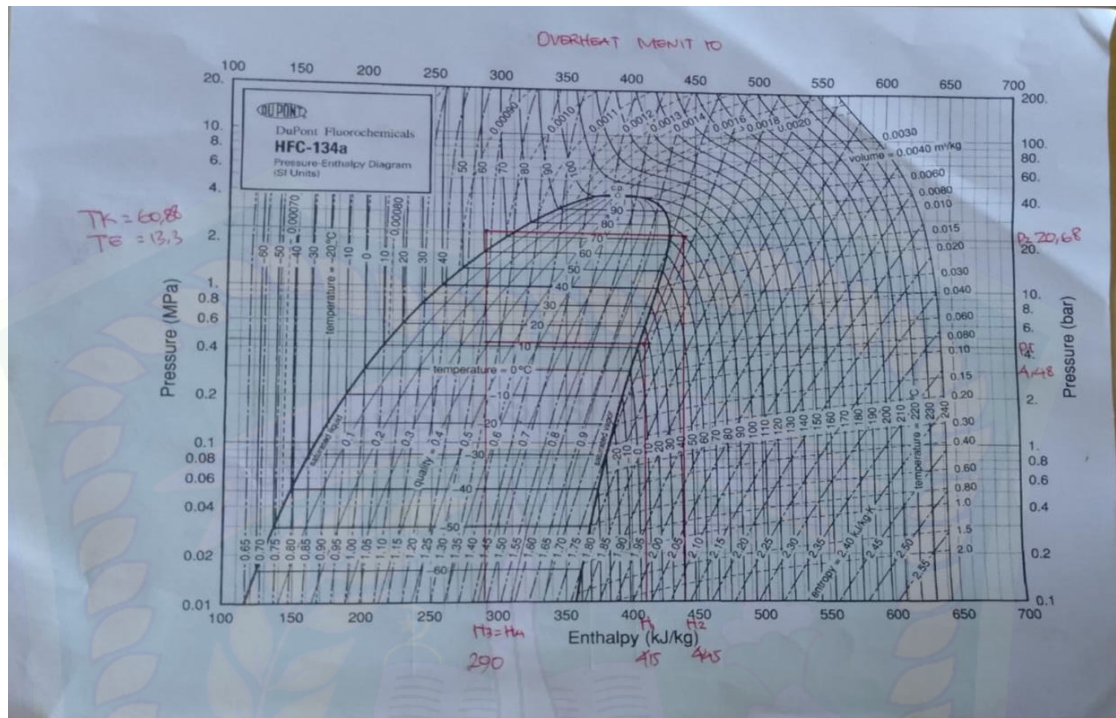
1.a Normal Menit ke-10



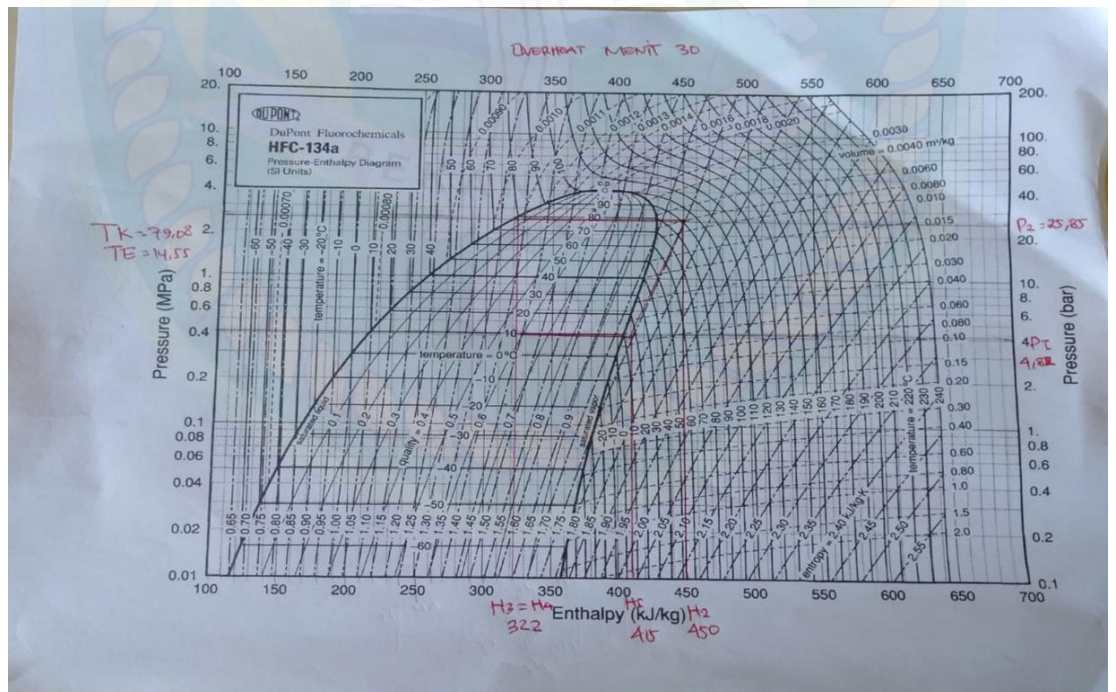
1.b Normal Menit ke-30



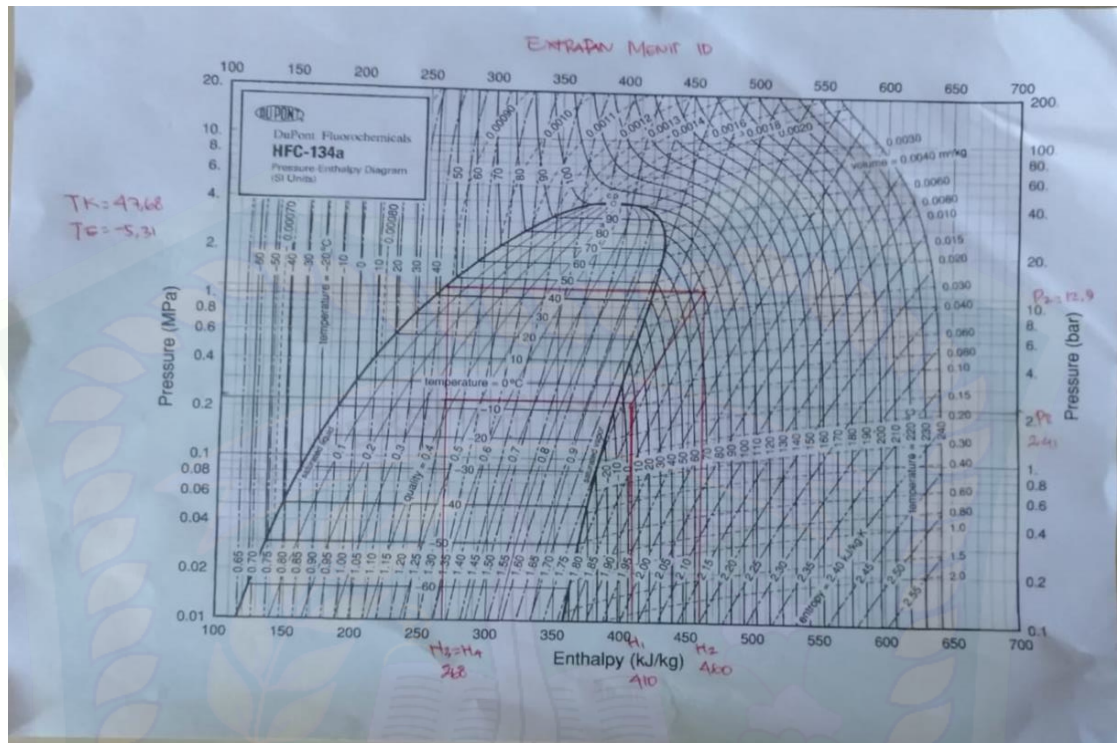
1.c Overheat Menit ke-10



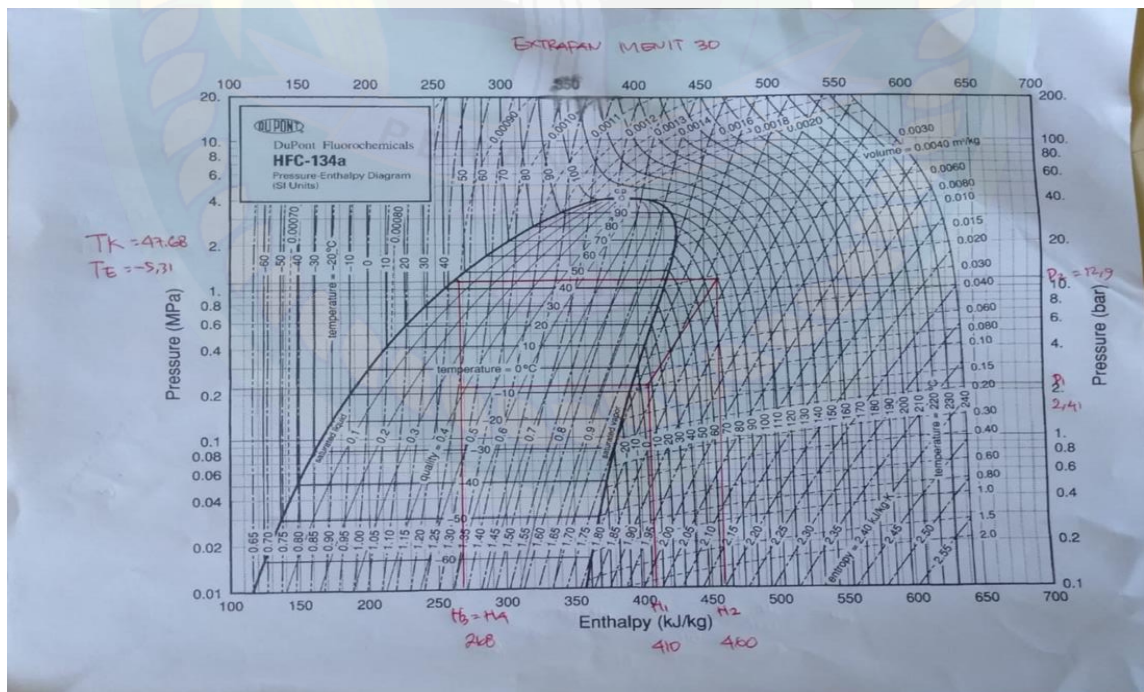
1.d Overheat Menit ke-30



1.e Extra Fan Menit ke-10



1.f Extra Fan Menit ke-30



Lampiran 2

2.1 Keadaan normal



2.2 Penambahan *Extra fan*

