

Kajian sistem pendingin udara ditinjau dari kerusakan evaporator pada kendaraan ringan merk 'x'

A/C system study in light of damage to the evaporator on a "x" light vehicle

Srihanto^{1*}, Parman Sinaga¹, Sigit Yulianto¹, Ricky Perdana Handono¹

^{1*} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Budi Utomo, Jakarta. Jl. Mawar Merah, No 23, RT 002/RW 001 Pondok Kopi, Duren Sawit, Jakarta Timur, Indonesia 13460

*E-mail: srihanto58@gmail.com

Article Submit: 19/01/2023

Article Revision: 28/02/2023

Article Accepted: 05/03/2023

Abstrak. Pada sebuah kendaraan merk 'X' ditemukan masalah pada sistem AC dengan gejala AC tidak dingin. Oleh karenanya diperlukan analisis dengan tujuan untuk mengetahui akar penyebab AC tidak dingin. Metode penelitian yang digunakan untuk mendukung analisis yakni metode kuantitatif. Dari hasil penelitian pengukuran tekanan tinggi 10 bar, tekanan tinggi normal 12-14 (bar). Tekanan rendah hasil pengukuran 1,6 bar, tekanan rendah normal 2-4 (bar). Kebocoran evaporator yang mengalami benturan benda padat asing dan akumulasi kotoran yang tidak tersaring ketika udara dihembuskan oleh blower, oleh karenanya tekanan hasil pengukuran dibawah standar yang mengindikasikan jumlah refrigerant di dalam sistem AC berkurang. Dari hasil perbaikan dan penambahan saringan udara, sistem AC mengalami peningkatan kinerja. Hal ini ditandai oleh turunnya nilai kerja kompresor dari 40 kJ/kg menjadi 29 kJ/kg, naiknya nilai efisiensi refrigerasi dari 72% menjadi 75%, dan temperatur kabin dari 32°C dengan RH 86% menjadi 25°C dengan RH 72%.

Kata kunci: AC Mobil, evaporator, saringan udara, kerja kompresor, efisiensi pendinginan.

Abstract. An issue with the AC system was discovered in a car of model "X," with symptoms including the AC not cooling. To determine the underlying reason why the AC isn't cooling, a study is therefore required. Quantitative research methodology is used to back the analysis. According to study findings, high pressure is measured at 10 bars, while normal high pressure is between 12 and 14. (bar). Measured low pressure is 1.6 bar, typical low pressure is 2-4. (bar). When the air is exhaled by the blower, the evaporator leaks that result from collisions with foreign solid objects and accumulated dirt are not filtered, so the pressure test results are below standard, indicating that the quantity of refrigerant in the AC system is decreased. The outcomes of the repairs and the addition of air filters have improved the performance of the air conditioning system. This is indicated by a change in cabin temperature from 32°C with 86% RH to 25°C with 72% RH, as well as a reduction in compressor work from 40 kJ/kg to 29 kJ/kg and a rise in refrigeration efficiency from 72% to 75%..

Keywords: Evaporator, air filter, compressor operation, cooling effectiveness, car air conditioner

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin modern, teknologi otomotif khususnya pada kendaraan roda empat juga semakin maju [1]. Permintaan konsumen akan mobil dengan teknologi terkini juga mengalami peningkatan. Dalam penelitian ini mobil yang sudah mengaplikasikan sistem AC (*Air Conditioner*) [2].

Pada sebuah kendaraan merk 'X' dengan tipe kendaraan MPV (*Multi Purpose Vehicle*) ditemukan masalah pada sistem AC dengan hasil pengukuran tekanan, yaitu: tekanan tinggi hasil pengukuran 10 bar, tekanan tinggi normal 12-15 (bar) [3]. Tekanan rendah hasil pengukuran 1,6 bar, tekanan rendah normal 2-4 (bar). Pemeriksaan secara visual juga dilakukan terhadap komponen-komponen sistem AC seperti kompresor, kondensor, *receiver* dan *dryer*, evaporator, delivery pipe, dan sambungan-sambungannya. Setelah dilakukan pemeriksaan ditemukan kerusakan pada evaporator yang penuh kotoran debu dan teridentifikasi bocor [4][5].

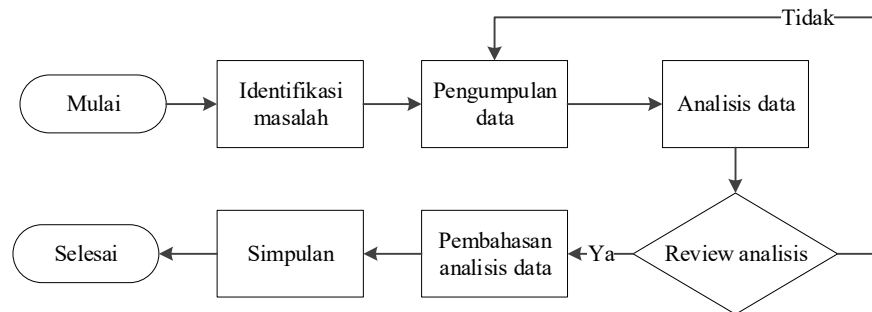


Evaporator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pendingin udara pada kendaraan. Kerusakan evaporator mempengaruhi kinerja sistem yang mengakibatkan tidak tercapainya suhu ideal di dalam kabin kendaraan [6]. Untuk memastikan dan menjaga kinerja komponen utama sistem pendingin tetap dalam kondisi optimal, dalam pembahasan ini khususnya komponen evaporator [7].

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kemampuan kerja AC, ditandai dengan gejala-gejala: 1) AC tidak dingin, 2) Berbau tidak sedap, 3) Mengembun. Tujuan dalam penelitian ini menemukan penyebab kerusakan Sistem AC, mengetahui besar COP kerja sistem AC sebelum dan sesudah diperbaiki

2. METODE

Tahapan metode penelitian yang dilakukan, diantaranya tahap pengumpulan data, tahap analisis data, dan tahap pembahasan hasil analisis. Penjelasan dari tahapan-tahapan yang telah disebutkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alir penelitian

2.1 Metode pengumpulan data

Identifikasi masalah terhadap kegagalan sistem pendingin pada kendaraan bermotor roda 4. Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan observasi. Metode Studi Literatur yaitu mengumpulkan dan mempelajari teori dan informasi dari buku, jurnal, dan karya tulis yang dijadikan acuan dalam mendukung menyelesaikan permasalahan pada penelitian. Observasi adalah pengamatan melibatkan semua indera (penglihatan, pendengaran, penciuman, pembau, juga perasa). Observasi dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap mobil yang memiliki keluhan sistem AC yang diindikasikan mengarah kepada kerusakan evaporator.

2.2 Metode analisis data

Metode analisis data menggunakan jenis analisis data kuantitatif dimana data yang diperoleh hanya satu variabel yakni berdasarkan tekanan fluida pada sistem AC. Pengumpulan data dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan tiga sampel kendaraan yang terindikasi mengalami gejala sesuai dengan identifikasi dalam penelitian kegagalan pada kendaraan mobil roda 4. Jika dalam penelitian yang dilakukan ditemukan kekurangan data, maka dilakukan pengumpulan data.

2.3 Metode pembahasan hasil analisis

Hasil analisis yang disajikan berupa data yang diperoleh melalui metode studi literatur, observasi dan wawancara. Data yang diperoleh kemudian diolah sehingga mendapatkan data yang valid yang siap digunakan dalam pembahasan penyelesaian masalah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis

Pada tahap analisis dilakukan pengukuran ke unit mobil berdasarkan masalah gangguan AC pada mobil tipe X yang mengalami gejala-gejala seperti AC tidak dingin, berbau tidak sedap, dan keluar embun. Setelah itu dilakukan pengujian sistem AC dan pengukuran tekanan refrigerant dengan menggunakan alat *Air Conditioner recovery* (Gambar 2) [8]. Alat *Air Conditioner recovery* tidak hanya berfungsi sebagai alat pengukur tekanan, namun juga dapat berfungsi untuk melakukan penghisapan dan pengisian refrigerant, memvakumkan ruangan dalam sistem AC, dan melakukan tes kebocoran (*leak test*) [9].



Gambar 2. Alat air conditioner recovery

Pada saat kendaraan dalam keadaan mati (kunci kontak *off*), dan untuk mengetahui kinerja dipergunakan alat *Air Conditioner recovery* yang sudah di posisi *On* dengan selang warna biru ke saluran pipa tekanan rendah (*low*) dan selang warna merah ke saluran pipa tekanan tinggi (*high*). Setelah terpasang dengan sempurna, kemudian star mesin dengan menghidupkan AC kendaraan, maka akan terbaca tekanan rendah dan tekanan tinggi pada *pressure gauge* [10]. **Tabel 1** pengukuran temperatur pada evaporator dan kondensor untuk mendapatkan data yang akan digunakan dalam perhitungan daya kerja kompresor dan COP sistem AC.

Tabel 1. Hasil pengukuran tekanan sistem AC Mobil B 16XX XFQ

| Tekanan | Tekanan Normal | Hasil Pengukuran |
|--------------|---|--------------------|
| Tinggi | 12-14 bar | 10 bar |
| Rendah | 2-4 bar | 1,6 bar |
| Temperatur | Temperatur Normal | Hasil Pengukuran |
| T kondensor | 48 ⁰ C-54 ⁰ C | 42 ⁰ C |
| T evaporator | 2 ⁰ C-8 ⁰ C | -16 ⁰ C |
| T kabin | 22,8 ⁰ C-25,8 ⁰ C | 32 ⁰ C |

Dari hasil analisis awal didapatkan data tekanan refrigerant, temperatur kondensor, temperatur evaporator, dan temperatur dalam kabin tidak sesuai antara tekanan normal dan hasil pengukuran yang dijelaskan pada Tabel 1 Berdasarkan pemeriksaan dilanjutkan untuk mendapatkan hasil yang valid dan dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi [11] [12]. Langkah pemeriksaan yang dilakukan pada sistem AC.

- Hisap refrigerant di dalam sistem AC kendaraan dengan mengoperasikan alat pada mode “*recovery*“. Kemudian tekan tombol start, indikator akan memberikan informasi terhadap tekanan pada sistem. Jika tekanan menunjukkan “*alarm error*” maka proses penghisapan refrigerant telah selesai, refrigerant yang dihisap ditampung sementara di dalam alat *Air Conditioner recovery*.
- Setelah proses penghisapan refrigerant, dilakukan juga pemeriksaan kebocoran dengan menggunakan alat yang sama dengan mengoperasikannya ke mode vakum. Tekanan AC harus berada di bawah 0 bar, hasil pengukuran pada kasus ini setelah di vakum tekanan pada *pressure gauge* naik di atas nol (0) bar yang menandakan terdapat kebocoran pada sistem AC.
- Pemeriksaan secara visual terhadap komponen sistem AC seperti: kompresor, kondensor, *receiver* dan *dryer*, evaporator, *delivery pipe*, dan juga sambungan-sambungannya. Pemeriksaan secara visual diketahui kerusakan terjadi pada evaporator yang penuh kontaminasi dan mengalami kebocoran. Hal ini mengakibatkan temperatur di dalam kabin naik hingga 32⁰C, karena hembusan udara dari *blower* terhalang kotoran pada evaporator. Evaporator yang mengalami kerusakan pada

Gambar 3.



Gambar 3. Evaporator yang mengalami kerusakan.

3.2 Proses perbaikan

Kerusakan evaporator disebabkan oleh kotoran yang mengendap dan menimbulkan bau tidak sedap, benturan benda padat asing menyebabkan kebocoran [13]. Setelah dianalisis hal ini terjadi dikarenakan udara masuk dari luar yang dihembuskan oleh blower menuju evaporator tidak melalui penyaringan terlebih dahulu, akibatnya penumpukan kotoran terjadi di evaporator .

Solusi untuk menyelesaikan kegagalan pada sistem pendingin harus menambahkan saringan udara sebelum masuk ke evaporator. Saringan udara ini mampu membersihkan udara yang dihembuskan oleh blower sebelum sampai ke evaporator, agar tidak terjadi penumpukan kotoran yang menyebabkan kerusakan di evaporator. Langkah awal saat pembongkaran yaitu melepaskan dashboard di panel bawah kemudi dan dashboard di panel bagian depan dan bawah tempat duduk penumpang, lepaskan dashboard dengan menggunakan obeng yang telah dipersiapkan, sesuai dengan **Gambar 4**.



Gambar 4. Dashboard yang telah dilepas.

Proses perbaikan yang dilakukan melepaskan dashboard, melepaskan pedal rem (pada kendaraan tipe transmisi otomatis) dengan menggunakan peralatan yang telah disiapkan sesuai **Gambar 5**. Setelah semua terlepas, langkah berikutnya melepas baut-baut dan soket yang terhubung dengan evaporator di bawah dashboard kemudi. Kemudian lepaskan evaporator dari rumahnya dengan cara menarik evaporator ke arah kanan.



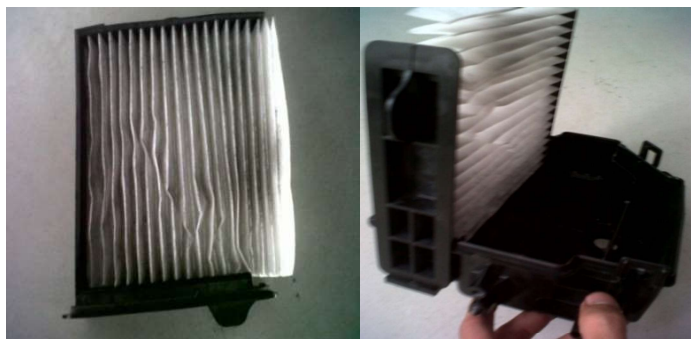
Gambar 5. Pedal rem yang telah terlepas

Saat kerusakan sudah dipastikan, langkah selanjutnya yaitu membuat lubang pada rumah evaporator yang nantinya akan ditempati oleh saringan udara, dengan cara melubanginya menggunakan solder, pada tempat yang telah ditentukan, yang letaknya di dashboard bagian bawah tempat duduk penumpang depan.



Gambar 6. Letak posisi rumah evaporator yang akan dilubangi

Setelah terlubangi dengan sempurna (artinya saringan udara sudah bisa masuk ke rumah evaporator dengan sempurna), pasang kembali *sparepart* pengganti komponen yang rusak.



Gambar 7. Filter udara yang terpasang pada rumah evaporator.

Gambar 7 evaporator terpasang, masukkan saringan udara ke dalam rumah evaporator yang telah dilubangi sebelumnya. Kemudian pasang kembali pedal kopling (pada kendaraan tipe transmisi manual) dan semua dashboard yang dilepas pada proses pembongkaran. Saat semua komponen telah terpasang, vakumkan saluran sistem AC pada kendaraan yang telah melakukan pembongkaran agar tidak ada udara yang masuk dalam sistem AC. Dengan mengoperasikan alat *Air Conditioner recovery* pada mode vakum, lalu tekan tombol *start*. Setelah proses vakum selesai alat akan memberi tanda dengan mengeluarkan tanda bunyi.

Masukkan cairan refrigerant R134a kedalam sistem AC pada kendaraan dengan mengoperasikan alat *Air Conditioner recovery* pada mode *gas filling*. Tentukan jumlahnya dengan menekan angka 0 sampai muncul tampilan 00000 pada *Air Conditioner recovery*, lalu ketik angka 450, artinya jumlah Freon sebanyak 450 gram (0,45 kg), setelah itu tekan tombol *start*, jika proses *gas filling* selesai selesai alat akan memberi tanda dengan mengeluarkan tanda bunyi.

Proses pengetesan kebocoran atau *leak test*. Caranya yaitu dengan mengoperasikan alat *Air Conditioner recovery* pada mode *leak test*, lalu tekan tombol *start*. *Leak test* berlangsung selama satu menit, jika prosesnya telah selesai dan tidak terjadi kebocoran pada sistem AC, alat *Air Conditioner recovery* akan memberikan tanda dengan mengeluarkan tulisan *restart* pada indikatornya dan mengeluarkan tanda bunyi.

3.3 Pengukuran setelah perbaikan

Untuk memastikan perbaikan yang dikerjakan sesuai dengan standar, maka dilakukan pengukuran kerja sistem AC yang telah diperbaiki. Melakukan pengukuran kerja sistem AC pasang selang alat *Air Conditioner recovery* pada pipa tekanan tinggi dan tekanan rendah, hidupkan mesin kendaraan, dan dilakukan pengukuran tekanan dan temperatur untuk mengetahui perubahan setelah AC diperbaiki.

Tabel 2. Hasil pengukuran setelah perbaikan

| Tekanan | Tekanan Normal | Hasil Pengukuran |
|--------------|---|-------------------|
| Tinggi | 12 - 14 bar | 13 bar |
| Rendah | 2 - 4 bar | 2,4 bar |
| T kondensor | 48 ⁰ C - 54 ⁰ C | 50 ⁰ C |
| T evaporator | 2 ⁰ C - 8 ⁰ C | 2 ⁰ C |
| T kabin | 22,8 ⁰ C - 25,8 ⁰ C | 25 ⁰ C |



Gambar 8. Hasil pengukuran tekanan refrigerant dalam kondisi normal

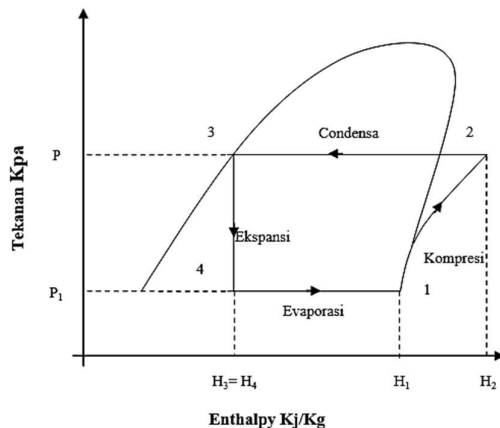
Gambar 8 nilai pengukuran tekanan dan temperatur pada proses analisis, maka telah diketahui penyebab dari kerusakan pada sistem AC, dan proses perbaikan yang dilakukan dapat mengembalikan kerja sistem AC kembali sesuai standar. Dari nilai pengukuran tersebut dapat dilakukan perhitungan daya kerja kompresor, COP sistem AC, dan kelembaban relatif di dalam kabin kendaraan untuk mengetahui perubahan yang terjadi setelah sistem AC diperbaiki.

3.4 Perhitungan kerja sistem AC

Nilai kerja sistem AC digunakan data hasil pengukuran yang telah diambil sebelumnya. Dari tabel 2. dapat diketahui data pengukuran sebelum dilakukan perbaikan pada sistem AC, diperoleh:

- $T_c = -16^{\circ} C$ (Suhu kerja evaporator)
- $T_c = 42^{\circ} C$ (Suhu kerja kondensor)
- $h_1 = 387 \text{ kJ/kg}$ (Diambil dari diagram p-H)
- $h_2 = 427 \text{ kJ/kg}$ (Diambil dari diagram p-H)
- $h_3 = 259 \text{ kJ/kg}$ (Diambil dari diagram p-H)
- $h_4 = 259 \text{ kJ/kg}$ (Diambil dari diagram p-H)

Nilai entalpi didapatkan dengan memasukkan nilai hasil pengukuran ke dalam diagram P-h. Buat skala pada grafik horizontal (entalpi) dengan ukuran yang sesuai. Setelah hasil pengukuran lengkap maka bisa ditarik garis kebawah untuk menentukan harga entalpi pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Diagram tekanan entalpi siklus kompresi uap [14].

Nilai entalpi menggunakan *software CoolPack*, dengan menginput nilai hasil pengukuran suhu pada evaporator dan kondensor. Pilih menu *refrigeration utilities*, klik diagram P-h, pilih jenis

refrigerant yang digunakan. Pada menu *cycle* input hasil pengukuran yang telah dilakukan, lalu *draw cycle*. Nilai entalpi pada siklus dapat dilihat pada menu *cycle info*. Maka perhitungan sebelum sistem AC diperbaiki [14].

3.4.1 Kerja kompresor persatuan massa refrigerant (W_{in})

Untuk mendapatkan kerja kompresor persatuan massa refrigerant yang dihasilkan oleh AC mobil, dapat menggunakan persamaan (1):

$$\begin{aligned} W_{in} &= h_2 - h_1 \\ &= 427 \text{ kJ/kg} - 387 \text{ kJ/kg} \\ &= 40 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kompresor persatuan massa refrigerant sebesar 40 kJ/kg

3.4.2 Kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor (Q_{out})

Untuk mendapatkan nilai kalor persatuan massa refrigerant yang dilepaskan kondensor pada AC mobil, dapat menggunakan persamaan (2):

$$\begin{aligned} Q_{out} &= h_2 - h_3 \\ &= 427 \text{ kJ/kg} - 259 \text{ kJ/kg} \\ &= 168 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Maka kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor sebesar 168 kJ/kg

3.4.3 Kalor yang diserap evaporator (Q_{in})

Untuk mendapatkan kalor persatuan massa refrigerant yang diserap evaporator pada AC mobil, dapat menggunakan persamaan (3):

$$\begin{aligned} Q_{in} &= h_1 - h_4 \\ &= 387 \text{ kJ/kg} - 259 \text{ kJ/kg} \\ &= 128 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kalor persatuan massa refrigerant yang diserap evaporator sebesar 128 kJ/kg

3.4.4 COP aktual

COP aktual dipergunakan untuk menyatakan unjuk kerja (*performance*) dari mesin AC mobil yang bekerja dengan siklus kompresi uap, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$\begin{aligned} \text{COP aktual} &= (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \\ &= (387 \text{ kJ/kg} - 259 \text{ kJ/kg}) / (427 \text{ kJ/kg} - 387 \text{ kJ/kg}) \\ &= 3,2 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

COP aktual AC mobil sebesar 3,2 kJ/kg

3.4.5 COP ideal

Untuk menghitung COP ideal maka perlu mengkonversi hasil pengukuran suhu dalam satuan *Celcius* ke dalam satuan *Kelvin*. Gunakan persamaan (5) untuk mengetahui nilai COP ideal. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{COP}_{ideal} &= T_e / (T_c - T_e) \\ &= (-16 + 273,15) / \{(42 + 273,15) - (-16 + 273,15)\} \\ &= 257,15 / 58 \\ &= 4,4 \text{ Kelvin} \end{aligned}$$

COP ideal pada sistem AC tersebut ialah 5,7 Kelvin

3.4.6 Efisiensi Refrigerasi (η)

Untuk mendapatkan efisiensi AC mobil dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6):

$$\begin{aligned} \eta &= (\text{COP}_{actual} : \text{COP}_{ideal}) \times 100\% \\ &= (3,2 : 4,4) \times 100\% \\ &= 72\% \end{aligned}$$

3.5 Menghitung kerja kompresor

Menghitung kerja kompresor setelah sistem AC diperbaiki. Dari tabel 2 dapat diketahui data pengukuran setelah dilakukan perbaikan pada sistem AC, diperoleh:

| | | |
|-------|-------------|----------------------------|
| T_e | = 2 °C | (Suhu kerja evaporator) |
| T_c | = 50° C | (Suhu kerja kondensor) |
| h_1 | = 398 kJ/kg | (Diambil dari diagram p-H) |
| h_2 | = 427 kJ/kg | (Diambil dari diagram p-H) |
| h_3 | = 271 kJ/kg | (Diambil dari diagram p-H) |
| h_4 | = 271 kJ/kg | (Diambil dari diagram p-H) |

3.5.1 Kerja kompresor persatuan massa refrigerant (W_{in})

Untuk mendapatkan kerja kompresor persatuan massa refrigerant yang dihasilkan oleh AC mobil, dapat menggunakan persamaan (1):

$$\begin{aligned} W_{in} &= h_2 - h_1 \\ &= 427 \text{ kJ/kg} - 398 \text{ kJ/kg} \\ &= 29 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Maka kerja kompresor persatuan massa refrigerant sebesar 29 kJ/kg.

3.5.2 Kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor (Q_{out})

Untuk mendapatkan nilai kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor pada AC mobil, dapat menggunakan Persamaan (2):

$$\begin{aligned} Q_{out} &= h_2 - h_3 \\ &= 427 \text{ kJ/kg} - 271 \text{ kJ/kg} \\ &= 156 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor sebesar 156 kJ/kg

3.5.3 Kalor yang diserap evaporator (Q_{in})

Untuk mendapatkan kalor persatuan massa refrigerant yang diserap evaporator pada AC mobil, dapat menggunakan persamaan (3):

$$\begin{aligned} Q_{in} &= h_1 - h_4 \\ &= 398 \text{ kJ/kg} - 271 \text{ kJ/kg} \\ &= 127 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Setelah dihitung, maka kalor persatuan massa refrigerant yang diserap evaporator sebesar 127 kJ/kg

3.5.4 COP aktual

COP aktual dipergunakan untuk menyatakan unjuk kerja (*performance*) dari mesin AC mobil yang bekerja dengan siklus kompresi uap, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{aktual}} &= (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \\ &= (398 \text{ kJ/kg} - 271 \text{ kJ/kg}) / (427 \text{ kJ/kg} - 398 \text{ kJ/kg}) \\ &= 4,3 \end{aligned}$$

COP aktual AC mobil setelah perbaikan sebesar 4,3

3.5.5 COP ideal

Untuk menghitung COP ideal perlu mengkonversi hasil pengukuran suhu dalam satuan *Celcius* ke dalam satuan *Kelvin*. Persamaan (5) untuk mengetahui nilai COP ideal. Perhitungannya COP.

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ideal}} &= T_e / (T_c - T_e) \\ &= (2+273,15) / \{(50+273,15) - (2+273,15)\} \\ &= 275,15/48 \\ &= 5,7 \end{aligned}$$

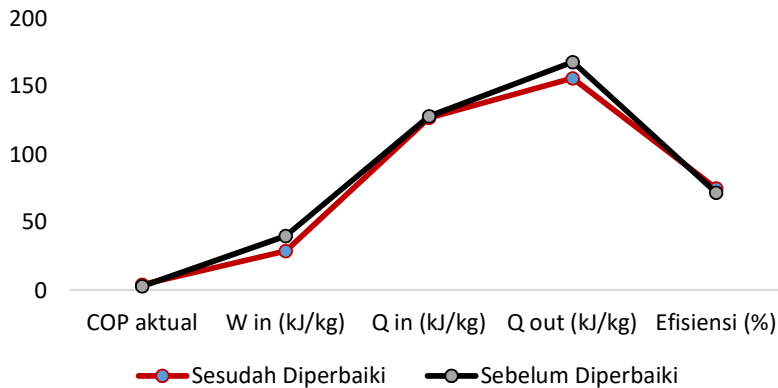
COP ideal pada sistem AC tersebut adalah 5,7.

3.5.6 Efisiensi refrigerasi (η)

Untuk mendapatkan efisiensi AC mobil dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6):

$$\begin{aligned} \eta &= (\text{COP}_{\text{aktual}} : \text{COP}_{\text{ideal}}) \times 100\% \\ &= (4,3 : 5,7) \times 100\% \\ &= 75\% \end{aligned}$$

Didapatkan nilai efisiensi refrigerasi sebesar 75%. Efisiensi refrigerasi mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan kondisi sistem AC saat sebelum diperbaiki yang memiliki nilai efisiensi refrigerasi sebesar 72%. Grafik perbandingan perhitungan sistem AC sebelum dan setelah perbaikan tersaji dalam **Gambar 10**.



Gambar 10. Grafik perbandingan kerja sistem AC

Tabel 3. Perbandingan kerja sistem AC

| Perhitungan | Setelah Perbaikan | Sebelum Perbaikan |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| <i>COP aktual</i> | 4,3 | 3,2 |
| <i>W_{in} (kJ/kg)</i> | 29 | 40 |
| <i>Q_{out} (kJ/kg)</i> | 156 | 168 |
| <i>Q_{in} (kJ/kg)</i> | 127 | 128 |
| <i>Efisiensi (%)</i> | 75 | 72 |

Pada **Gambar 9** nilai efisiensi kerja sistem AC setelah di perbaiki mengalami peningkatan dibandingkan saat sebelum diperbaiki. **Tabel 3** bukti nilai kerja kompresor per-satuan massa refrigerant (W_{in}), kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas kondensor (q_{out}), kalor yang diserap evaporator (q_{in}) mengalami penurunan, sedangkan COP aktual dan efisiensi refrigerasi mengalami peningkatan.

3.6 Pengujian temperatur kabin

Gambar 11 pengujian terhadap sistem AC yang telah selesai diperbaiki, proses ini bertujuan untuk mengetahui perubahan temperatur kabin yang terjadi setelah AC diperbaiki. Pengujian yang akan dilakukan, yaitu pengujian dengan mengukur temperatur di dalam kabin kendaraan untuk mengetahui capaian suhu ketika sistem AC beroperasi.

Tabel 4 pengujian dalam kabin menggunakan termometer untuk mendapatkan suhu bola kering (*Dry-bulb Temperature*) dan suhu bola basah (*Wet-bulb Temperature*).

Tabel 4. Hasil pengukuran suhu kabin kendaraan

| Suhu udara 34 °C | Sebelum Perbaikan | Setelah Perbaikan |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| Termometer kering | 30°C | 20°C |
| Termometer basah | 28°C | 17°C |



Gambar 11. Pengukuran dengan termometer basah



Gambar 12. Pengukuran dengan termometer kering

Gambar 12 hasil pengukuran, nilai pengukuran dimasukkan ke dalam grafik psikometrik untuk mengetahui kelembaban relatif yang nantinya dijadikan acuan standar kelembaban temperatur nyaman sesuai standar. Adapun hasil pengukurannya yang didapat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban relatif

| Hasil Pengukuran | Temperatur | Kelembaban Relatif | Standar Temperatur dan RH Nyaman Optimal |
|------------------|-------------------|--------------------|---|
| Sebelum | 32 ⁰ C | 86% | 22,8 ⁰ C - 25,8 ⁰ C |
| Sesudah | 25 ⁰ C | 72% | 70%-80% |

Tabel 5 nilai temperatur kabin sebelum sistem AC diperbaiki sebesar 32⁰C dengan kelembaban relatif pada angka 86%, nilai tersebut tidak termasuk kedalam kategori Sejuk Nyaman, Nyaman Optimal, ataupun hampir nyaman sesuai standar. Sedangkan hasil pengujian setelah diperbaiki terlihat temperatur kabin sebesar 25⁰ C dengan kelembaban relatif pada angka 72%, nilai yang didapat masuk kategori ‘Nyaman Optimal’ pada Standar Nasional Indonesia (SNI) T-14-1993-0.

3.7 Pembahasan

Dari hasil analisis dapat diketahui beberapa data terkait kerusakan pada sistem AC, mulai dari sebelum perbaikan sampai sistem AC selesai diperbaiki. Penyebab kerusakan sistem AC terjadi kebocoran pada komponen evaporator yang disebabkan oleh benturan benda padat asing. Serta penyebab yang lain akumulasi kotoran yang dihembuskan blower yang tidak tersaring hingga ke evaporator. Setelah diperbaiki dengan cara mengganti evaporator, dan menambahkan saringan udara antara blower dan evaporator [15], udara yang dihembuskan oleh blower tersaring oleh filter, sehingga sampai ke evaporator dalam keadaan bersih. Pengukuran tekanan dan temperatur yang telah dihitung, diketahui capaian kerja sistem AC mengalami peningkatan setelah dilakukannya perbaikan. Dari COP aktual 3,2 dengan efisiensi 72%, COP aktual naik menjadi 4,3 dengan efisiensi 75%.

Suhu kabin kendaraan mengalami penurunan temperatur setelah dilakukan perbaikan. Hasil dari pengukuran temperatur lalu dimasukkan ke dalam grafik psikometrik untuk mengetahui kelembaban relatif pada temperatur kabin tersebut. Hasilnya temperatur kabin ada pada angka 25⁰C dengan kelembaban relatif 72%. Dari yang sebelumnya temperatur kabin di angka 32⁰C dengan kelembaban relatif 86%. Dengan demikian pembahasan proses pengujian AC setelah diperbaiki selesai.

4 SIMPULAN

Setelah melakukan observasi, analisis, dan menerapkan hasilnya pada permasalahan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: 1) Kerusakan pada sistem AC disebabkan oleh kebocoran pada komponen evaporator. Hal ini disebabkan oleh benturan benda padat asing dan akumulasi kotoran yang dihembuskan blower dan tidak tersaring hingga ke evaporator. 2) COP kerja sistem AC mengalami peningkatan, dari saat sebelum sistem AC diperbaiki COP aktual sebesar 3,2 dengan efisiensi 72%, menjadi 4,3 dengan efisiensi 75%. 3) Suhu pada kabin kendaraan setelah dilakukan perbaikan turun, yang sebelumnya 32⁰C dengan kelembaban relatif 86% menjadi 25⁰C dengan kelembaban relatif 72%. Masuk kategori ‘Nyaman Optimal’ sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) T-14-1993-0.

REFERENSI

- [1] R. Rahim, Asniawaty, T. Martosenjoyo, S. Amin, and R. Hiromi, "Karakteristik Data Temperatur Udara dan Kenyamanan Termal di Makassar," *Pros. Temu Ilm. IPLBI*, vol. 1, no. 1, pp. 75–79, 2016.
- [2] R. Noval and Nofirman, "DIAGNOSIS KEGAGALAN GANDA PADA CHILLER SISTEM PENDINGIN AIR," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.37373/jttm.v2i1.83.
- [3] T. Mustamin, R. Rahim, R. Mulyadi, N. Jamala, and A. Kusno, "Analisis Fluktuasi Temperatur Udara dalam Ruang pada Ruang Seminar Laboratorium Sains dan Bangunan Kampus Gowa," no. 1, pp. H041–H044, 2017, doi: 10.32315/ti.6.h041.
- [4] Srihanto and Moch Sugiri, "PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN UDARA MENGGUNAKAN CEILING DUCT DENGAN PENGATURAN SISTEM VRV/F PADA GEDUNG PERKANTORAN 3 LANTAI," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.37373/jttm.v2i1.81.
- [5] J. T. Mesin, "AutoMech," vol. 02, pp. 1–5, 2022.
- [6] Abdul Azis Fitriaji, Alvian Ari Anoor, Muhammad Ilham Alhabsyie, and Awang Surya, "Cold Storage Dengan Sistem Kompresor Back Up Untuk Penyimpanan Vaksin," *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, 2021, doi: 10.37373/jttm.v2i2.123.
- [7] T. B. Pertiwi and H. Ahyadi, "Analisis Beban Pendingin Pada Ruangan Data Center / Server PT XX Di Gedung Summitmas II," *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 29, no. 1, 2019, doi: 10.37277/stch.v29i1.318.
- [8] B. Hidayati, F. Irawan, and Y. B. Herawati, "Analisis kelembaban udara pada AC Split Wall usia pakai 8 tahun dengan kapasitas 18000 Btu/hr," *J. Austenit*, vol. 13, no. 1, pp. 8–12, 2021.
- [9] M. A. Lambert and B. J. Jones, "Automotive adsorption air conditioner powered by exhaust heat. Part 2: Detailed design and analysis," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, vol. 220, no. 7, 2006, doi: 10.1243/09544070JAUTO222.
- [10] P. Surya Prakash, B. Reddy, K.-----
----- Binod, S. Vandaarkuzhali, R. Scholar, and R. Elansezhian, "Investigation on R152A as a Substitute for Commercial R22 - A Review-S. Vandaarkuzhali et al INVESTIGATION ON R152A AS A SUBSTITUTE FOR R22 IN COMMERCIAL AIR CONDITIONING SYSTEM-A REVIEW," *J. Sel. Areas Mechatronics Singaporean J. Sci. Res.*, vol. 6, no. 6, pp. 260–275, 2014, [Online]. Available: www.iaaet.org/sjsr.
- [11] J. Kartawidjaja, *Analisa Evaporator Pada Ac Split 1/2 PK Dengan Refrigeran R-22 dan R-290*, vol. 21, no. 1, 2020.
- [12] A. Pathania and D. Mahto, "Recovery of Engine Waste Heat for Reutilization in Air Conditioning System in an Automobile: An Investigation," *Glob. J. Res. Eng. Mech. Mech. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 7–19, 2012, [Online]. Available: www.ijirse.com/wp-content/upload/2016/02/492V.pdf%5Cn.
- [13] W. W. Arso and F. Gunawan, "Identifikasi Kerusakan Tutup Radiator Terhadap Suhu Engine Toyota Kijang 5K," *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 24–30, 2020, doi: 10.31289/jmemme.v4i1.3535.
- [14] U. Budiarto, W. Amiruddin, D. T. Perkapalan, F. Teknik, U. Diponegoro, and K. K. Refrigerasi, "Analisa Unjuk Kerja Desain Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Pada Kapal Ikan Ukuran 5 Gt Di Wilayah Rembang," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 4, 2017.
- [15] Suhengki and Prayudi, "PENGARUH BEBAN PENDINGIN TERHADAP KINERJA MESIN PENDINGIN DENGAN REFRIGERANT R134a DAN MC134," *Power Plant*, vol. 4, no. 1, pp. 260–270, 2017.