

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KECEPATAN PUTAR MESIN PENGGERAK KOMPRESOR PADA SISTEM KELISTRIKAN AC MOBIL

Esparuling¹, Budiman Sudia², La Hasanuddin³

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
Jln. H.E.A Mokodompit, Kampus Bumi Tridarma Andonohu, Kendari 93232

Abstrak

Proses pendinginan pada hakekatnya merupakan proses pemindahan energi panas yang terkandung di dalam suatu ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar mesin penggerak kompresor terhadap temperatur ruang waktu optimum cabin pada daerah tropis. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel sistem kelistrikan AC. Adapun metode penelitian yang dilakukan dengan cara eksperimen secara langsung pada alat tersebut dengan parameter kecepatan putaran mesin penggerak kompresor dengan temperatur yang ingin dicapai 20 °C, 22 °C, 24 °C dan 26 °C. Hasil penelitian menunjukan bahwa semakin tinggi putaran kerja kompresor semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan cabin. Pada putaran mesin 1500 rpm, $C_p = 293,07 \text{ J/mol.K}$, $W = 0,02542 \text{ m}$, $t_{op} = 0,00219$ jam. Pada putaran mesin 2000 rpm, $C_p = 234,48 \text{ J/mol.K}$, $W = 0,0285 \text{ m}$, $t_{op} = 0,00220$ jam. Pada putaran mesin 2500 rpm, $C_p = 175,88 \text{ J/mol.K}$, $W = 0,03303 \text{ m}$, $t_{op} = 0,00222$ jam. Pada putaran mesin 3000 rpm, $C_p = 117,275 \text{ J/mol.K}$, $W = 0,04059 \text{ m}$, $t_{op} = 0,00223$ jam. Pada putaran mesin penggerak kompresor 3000 rpm diperoleh waktu aktual yang paling singkat $t_{act} = 2,073$ menit dan waktu optimum $t_{op} = 0,00223$ jam.

Kata kunci: Kompresor, temperatur, waktu, panel AC, dan mesin penggerak.

Abstract

The cooling process is essentially a process of transfer of heat energy contained in a room. This study aims to determine the effect of the rotating speed of the compressor driving machine on the optimum cabin optimum time temperature in the tropics. Equipment used in this research is panel of electrical system of air conditioner. The research method is done by way of experiment directly on the tool with the speed parameters of the engine speed of the compressor with the temperature to be achieved 20 °C, 22 °C, 24 °C dan 26 °C. The results showed that the higher the compressor turn speed the shorter the time required to cool the cabin. At the engine speed of 1500 rpm, $C_p = 293.07 \text{ J/mol.K}$, $W = 0.02542 \text{ m}$, $t_{op} = 0.00219$ hours. At 2000 rpm engine speed, $C_p = 234.48 \text{ J/mol.K}$, $W = 0.0285 \text{ m}$, $t_{op} = 0.00220$ hours. At the engine speed of 2500 rpm, $C_p = 175.88 \text{ J/mol.K}$, $W = 0.03303 \text{ m}$, $t_{op} = 0.00222$ hours. At 3000 rpm engine speed, $C_p = 117.275 \text{ J/mol.K}$, $W = 0.04059 \text{ m}$, $t_{op} = 0.00223$ hours. At the speed of 3000 rpm compressor engine speed obtained the actual time of the shortest $t_{act} = 2.073$ minutes and the optimum time $t_{op} = 0.00223$ hours.

Keywords: Compressor, temperature, time, AC panel, and propulsion.

1. Pendahuluan

Sejak diciptakannya mobil dengan ruang penumpang tertutup, muncul pemikiran bagaimana caranya agar ruangan di dalam mobil tersebut tidak terasa panas dan pengap. Setelah berbagai cara dilakukan, muncullah ide yang paling efektif untuk mengurangi rasa panas, gerah, dan pengap di dalam mobil yakni dengan memasang AC (*Air Conditioner*). Pada tahun 1930 konsep pengondisian udara pada kendaraan di perkenalkan oleh

General Motors di Laboratorium, dan konsep ini pertama kali menggunakan *refrigerant* R12 serta pengaplikasiannya pada industri mobil *Cadillac*.

Proses pendinginan atau refrigerasi pada hakekatnya merupakan proses pemindahan energi panas yang terkandung di dalam suatu ruangan. Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka kita tidak dapat menghilangkan energi tetapi hanya dapat memindahkannya dari satu substansi ke substansi lainnya. Untuk keperluan pemindahan energi panas ruang, dibutuhkan

suatu fluida penukar kalor yang selanjutnya disebut Refrigeran. Pengkondisian udara pada suatu ruang mengatur mengenai kelembaban, pemanasan dan pendinginan udara dalam ruangan. Pengkondisian ini bertujuan memberikan kenyamanan, sehingga mampu mengurangi kelelahan yang efeknya untuk meningkatkan kebugaran. Sistem pengkondisian udara pada suatu ruang umumnya terdiri dari *evaporator*, *kondensor*, *receiver* dan kadang-kadang dilengkapi elemen pemanas yang tergabung menjadi satu dalam *evaporator housing*.

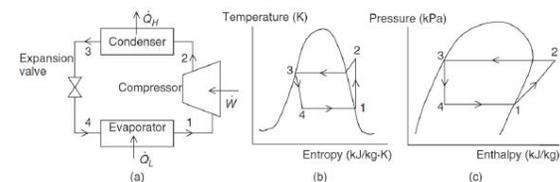
Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien prestasi yang lebih besar. Dengan kecepatan udara pendingin pada kondensor maka laju aliran massa akan menurun sehingga menyebabkan daya kompresor juga mengalami penurunan. Suatu pemikiran baru yang muncul adalah bagaimana jika kecepatan penggerak kompresor divariasikan sehingga jumlah putaran kompresor juga akan semakin besar. Fenomena ini menarik untuk dikaji apakah perubahan kecepatan kompresor akan mempengaruhi kinerja sistem pendingin kompresi uap.

2. Teori Dasar

Prinsip Kerja Mesin Pendingin

Prinsip kerja mesin pendingin merujuk pada siklus kompresi uap standar. Dalam sebuah mesin pendingin, *refrigerant* dialirkan dalam saluran pipa-pipa. Sebelum masuk kompresor, *refrigerant* dengan kondisi uap jenuh dikompresikan sehingga uap keluar kompresor menjadi uap panas lanjut. Uap tersebut mengalir pada bagian

kondensor untuk melepaskan kalor ke lingkungan sehingga terjadi proses kondensasi. Uap berubah menjadi cair jenuh kemudian melewati *dryer*, selanjutnya menuju katup ekspansi dan mengalami penurunan sampai tekanan evaporator. Pada evaporator cairan dari katup ekspansi mengalami vaporasi sehingga berubah menjadi uap jenuh dan masuk ke dalam kompresor untuk dikompresikan. Siklus berjalan terus menerus sehingga di dapat temperatur yang diinginkan.



Gambar 1. Sistem refrigerasi kompresi uap, a) diagram skematik, b) Diagram T-s, c) Diagram P-h (Dincer dan Kanoglu, 2010)

Gambar 1.a merupakan diagram skematik dari sistem refrigerasi kompresi uap. Namun untuk lebih memahami sistem refrigerasi ini, siklus refrigerasi juga dapat digambarkan melalui diagram temperatur-entropi (T-s) dan diagram tekanan entalpi (P-h). Berikut merupakan penjelasan dari setiap proses berdasarkan diagram di atas:.

Proses-proses yang membentuk siklus kompresi uap standar dapat dijelaskan melalui proses berikut dibawah ini:

Proses 1-2, merupakan kompresi adiabatik dan *reversible* dari uap jenuh ketika keluar dari evaporator menuju tekanan kondensor. Akibat adanya kerja dari kompresor, tekanan uap dan temperatur refrigerant menjadi lebih tinggi dan bergerak menuju kondensor.

Apabila perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan, maka kerja kompresor adalah:

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad [1]$$

$$\dot{m} h_1 + \dot{W} = \dot{m} h_2 \quad [2]$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \quad [3]$$

Dimana:

\dot{m} = laju aliran massa *refrigerant* (kg/s)

h = entalpi (kJ/kg)

W = daya kompresor (kW)

Proses 2-3 adalah proses pelepasan kalor *reversible* pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuper heating*) dan pengembunan *refrigerant*. Kapasitas laju aliran kalor kondensasi.

$$\dot{m} h_2 = \dot{m}(h_3 - \dot{Q}_H) \quad [4]$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad [5]$$

Dimana:

\dot{Q}_H = kalor yang dilepas kondensor ke lingkungan yang bertemperatur tinggi (kW)

Proses 3-4 ialah proses ekspansi tidak *reversible* pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator. Proses pengekangan (*throttling process*) pada sistem pendingin terjadi di dalam pipa kapiler atau katup ekspansi. Proses di sini berlangsung pada proses adiabatik, sehingga.

$$\dot{m} h_4 = \dot{m} h_3 \quad [6]$$

$$h_4 = h_3 \quad [7]$$

Proses 4-1 merupakan penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh. Kapasitas laju aliran kalor evaporasi dirumuskan

$$\dot{m} h_4 + \dot{Q}_L = \dot{m} h_1 \quad [8]$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_4 - h_1) \quad [9]$$

Dimana:

\dot{Q}_L = kalor yang diserap evaporator dari lingkungan yang bertemperatur rendah (kW)

Kesetimbangan energi untuk keseluruhan sistem refrigerasi dirumuskan sebagai berikut:

$$\dot{W} + \dot{Q}_L = \dot{Q}_H \quad [10]$$

Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan *koefisien prestasi* atau *coefficient of performance* (COP) yang didefinisikan sebagai :

$$COP = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [11]$$

Dimana:

h_1 = Entalpi keluar evaporator [Btu/lb]

h_2 = Entalpi masuk kondensor [Btu/lb]

h_3 = Entalpi keluar kondensor [Btu/lb]

h_4 = Entalpi masuk evaporator [Btu/lb]

m_{ref} = Laju aliran massa *refrigerant* [lbm/min].

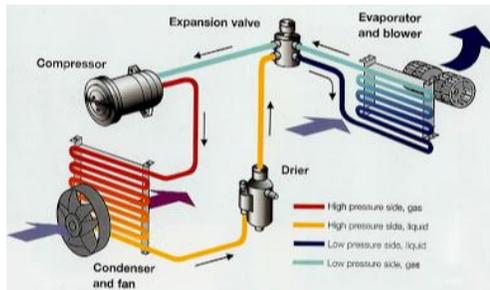
Air Conditioner (AC)

Air Conditioner merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengkondisikan udara didalam ruangan sesuai dengan yang diinginkan oleh penghuni. Prinsip kerja dari pengkondisi udara adalah dengan menyerap kalor tersebut dilepaskan keluar ruangan dengan bantuan refrigerasi. Konstruksi AC terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Bagian yang dipasang didalam ruang (*indoor unit*), meliputi evaporator, motor *blower*, *filter* udara, kontrol panel listrik dan pengontrol temperatur.
2. Bagian yang dipasang diluar ruangan (*outdoor unit*), meliputi kompresor, kondensor, kipas, accumulator, stainer, pipa kapiler.

Sistim Refrigerasi AC Mobil

Sistem refrigerasi yang paling sederhana memiliki komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator (Arismunandar, 2002). Untuk mendapatkan suhu udara yang sesuai dengan yang diinginkan banyak alternatif yang dapat diterapkan, diantaranya adalah dengan menaikkan koefisien perpindahan kalor kondensasi dan dengan menambahkan kecepatan udara pendingin pada kondensor sehingga akan diperoleh harga koefisien prestasi yang lebih besar.



Gambar 2. Sistem refrigerasi AC mobil (Direktur Pembinaan SMK, 2006)

Kerja Refrigerasi AC Mobil

Beberapa persamaan yang digunakan untuk menghitung kerja refrigerasi panel *air conduction* yaitu:

1. Perhitungan kapasitas panas dengan menggunakan persamaan:

$$\int_{T_{ref}}^T C_p dT = A(T - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4}(T^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5}(T^5 - T_{ref}^5) \quad [12]$$

Sumber: Himmelblau, 1996)

Dimana:

- C_p = Kapasitas panas (J/mol.K)
- A,B,C,D,E = Konstanta untuk gas
- T_{ref} = Temperatur referensi (K)
- T = Temperatur operasi (K)

Tabel 1. C_p gas (Carl L.Yaws, 1996)

Komponen	A	B
<i>Asetat Anhidrid</i>	9,5000E+00	3,4425E-01
<i>Metil Asetat</i>	-2,2287E+01	4,8275E-01
<i>Water</i>	29,52600	-8,90000x10 ⁻⁰³
<i>Carbonmonoxide</i>	29,55600	-6,58000x10 ⁻⁰³

C	D	E
-8,6736E-05	-7,677E-08	3,6721E-11
-4,6631E-04	2,329E-07	-4,3094E-11
3,81000x10 ⁻⁰⁵	-3,26000x10 ⁻⁰⁸	8,86000x10 ⁻¹²
2,01000x10 ⁻⁰⁵	-1,22000x10 ⁻⁰⁸	2,26000x10 ⁻¹²

2. Perhitungan tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor dengan persamaan:

$$W = \left(\frac{2 \cdot \lambda \cdot T}{C_p \cdot \rho} \right)^{1/2} \quad [13]$$

(Sumber: Kutz, Myer, 2006)

Dimana :

- W = Tebal optimum dalam menerima perpindahan kalor
- λ = Konduktifitas termal pada kaca 0,84 (J/m.s.co)
- ρ = Rapat massa kaca 2600 (kg/m³)
- C_p = Kapasitas panas (J/mol.K)

3. Perhitungan waktu optimum dalam cabin dengan persamaan:

$$t_{op} = \frac{W^2 \times C_p \times \rho}{2 \times 3600 \times A} \quad [14]$$

(Sumber: Kutz, Myer, 2006)

Dimana :

- A = Luas cabin 31,28 (m²)
- W = tebal optimum dalam menahan perpindahan panas (m)
- C_p = Kapasitas panas (J/mol.K)
- t_{op} = Waktu optimum dalam cabin (s)

4. Daya transmisi perpindahan *refrigerant* pada evaporator dengan persamaan:

$$P_{tra} = \frac{\lambda \cdot A(t_1 - t_2)}{d} \quad [15]$$

(Sumber: Stephen Helba, 2002)

Dimana:

- P_{tra} = Daya transmisi (Watt)
- A = Luas (m²)
- λ = Konduktifitas termal pada kaca (J/m.a.co)

T_1 = Temperatur lingkungan (ref) ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Temperatur operasi ($^{\circ}\text{C}$)

5. Perhitungan torsi mesin dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{n \cdot T}{9,55} \quad [16]$$

(Sumber: Stephen Helba, 2002)

Dimana:

P_{kom} = Daya kompresor (W)

n = Jumlah putaran (rpm)

T = Torsi (N/m)

6. Perhitungan daya kompresor dengan persamaan:

$$P_{\text{kom}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60} \quad [17]$$

Komponen Utama Sistem Refrigerasi

Adapun komponen utama sistem refrigerasi terdiri dari kompresor, kondensor, *receiver*, *expansion valve*, evaporator, *Magnetic clutch*, *refrigerant*.

Sifat-Sifat *Thermal*

Fungsi utama dari sistim pengkondisian udara adalah untuk mengatur kondisi udara dalam keadaan konstan, melalui pengaturan suhu dan kelembaban itu sendiri. Dalam hal ini dijelaskan beberapa istilah penting yang terdapat dalam sistim pengkondisian udara.

- a. Tekanan.

Tekanan didefinisikan sebagai tekanan tegak lurus pada bidang datar oleh benda padat, cair dan gas dan mempunyai satuan kg/cm^2 .

- b. Temperatur (suhu)

Temperatur adalah derajat panas atau tingkat kedinginan dari suatu benda dan mempunyai satuan Celcius ($^{\circ}\text{C}$) atau derajat Fahrenheit.

- c. Panas

Panas adalah adalah satu bentuk energi. Ada dua satuan panas yaitu Kcal dan BTU (*British Thermal Units*).

- d. Kelembaban

Kelembaban adalah uap air yang terkandung di dalam udara. Ada dua jenis kelembaban yaitu kelembaban relatif dan kelembaban mutlak. Kelembaban relatif adalah jumlah uap air yang terkandung di dalam udara di banding dengan jumlah udara yang dapat menahannya pada temperatur tertentu. Kelembaban mutlak adalah jumlah air yang terkandung didalam udara dibanding dengan udara kering.

Batas Kenyamanan *Thermal*

Berada di dalam bangunan kita berharap tidak merasa kepanasan, tidak merasa kegelapan akibat kurangnya cahaya, dan tidak merasakan bising yang berlebihan. Setiap bangunan diharapkan dapat memberikan kenyamanan termal, visual dan audio. Kenyamanan termal sangat dibutuhkan tubuh agar manusia dapat beraktifitas dengan baik (di rumah, sekolah ataupun di kantor/tempat bekerja). Szokolay, 1973 dalam '*Manual of Tropical Housing and Building*' menyebutkan kenyamanan tergantung pada variabel iklim (matahari/radiasinya, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin) dan beberapa faktor individual/subyektif seperti pakaian, aklimatisasi, usia dan jenis kelamin, tingkat kegemukan, tingkat kesehatan, jenis makanan dan minuman yang dikonsumsi, serta warna kulit. Indonesia mempunyai iklim tropis dengan karakteristik kelembaban udara yang tinggi (dapat mencapai angka 80%), suhu udara relatif tinggi (dapat mencapai hingga 35°C), serta radiasi matahari yang menyengat serta mengganggu, yang menjadi persoalan yaitu bagaimana menciptakan kenyamanan termal dalam bangunan dalam kondisi iklim tropis panas lembab.

Sejalan dengan teori, Lippsmeier (1994) menunjukkan beberapa penelitian yang membuktikan batas kenyamanan

(dalam Temperatur Efektif/TE) berbeda-beda tergantung kepada lokasi geografis dan subyek manusia (suku bangsa) yang diteliti.

Tabel 2. Batas kenyamanan pada beberapa daerah (Lippsmeier, 1994)

Pengarang	Tempat	Kelompok Manusia	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan (30° LU)	Peneliti	20,5°C - 24,5°C TE
Rao	Calcutta (22° LU)	India	20°C - 24,5°C TE
Webb	Singapura	Malaysia	25°C - 27°C TE
	Khatulistiwa	Cina	
Mom	Jakarta (6° LS)	Indonesia	20°C - 26°C TE
Ellis	Singapura	Europa	22°C - 26°C TE
	Khatulistiwa		

3. Metodologi Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian yaitu *tachometer*, *thermometer analog*, *stopcwath*, *accu* sedangkan bahan penelitian kompresor AC, kondensor, katup *expansion* termostatik, evaporator, *filter dryer*, kipas udara pendingin, ruangan penyekat, mesin penggerak 6.5 HP dengan putaran maksimum 16000 rpm. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar mesin penggerak kompresor terhadap temperatur ruang, maka metode penelitian yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan metode analisis kualitatif. Penelitian eksperimen adalah suatu penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang terkontrol secara tepat. (Sudjana, 1996). Sedangkan yang dimaksud analisa kualitatif adalah suatu metode analisis yang memberikan gambaran dan memaparkan secara jelas hasil eksperimen dalam bentuk angka-angka. Nilai yang diambil dari eksperimen ini adalah data pengaruh kecepatan putaran penggerak kompresor terhadap temperatur yang terbaca pada *cabin*, dimana pada *cabin* ini dilengkapi alat *thermometer* dan kecepatan putar mesin penggerak kompresor diuji dengan menggunakan alat *tachometer*. Alat ini akan mengukur parameter pengujian pada sistem kelistrikan AC mobil.

Identifikasi Variabel

Variabel Bebas

Variabel bebas adalah merupakan variabel yang menjadi sebab berubahnya atau timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 1997). Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah variasi kecepatan putaran mesin bensin 4 langkah pada kecepatan putaran mesin 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm dan 3000 rpm.

Variabel Terikat

Variable terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sudjana, 1996). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai temperatur ruang.

Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan dan dibuat konstan sehingga peneliti dapat melakukan penelitian yang bersifat membandingkan (Sudjana, 2006). Variabel kontrol yaitu mesin *refrigerant* daur kompresi uap yang bekerja normal dan konstan serta menggunakan *refrigerant* 12 (R-12).

Desain Eksperimen

Desain eksperimen adalah langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan-persoalan yang dibahas. (Sudjana, 1996). Pada penelitian ini terdapat satu variabel bebas, yang pada desain eksperimen disebut faktor. Faktor pada penelitian ini adalah perubahan putaran mesin pada kecepatan 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm dan 3000 rpm dan masing-masing perlakuan dilakukan replikasi sebanyak lima kali sehingga diperoleh sample sebanyak 25

sampel. Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian kemudian diolah pada program *Microsoft Excel*. Data-data yang telah diolah disajikan dalam bentuk tabel dan grafik batang untuk dianalisa dan dibahas hubungan kecepatan putar mesin penggerak kompresor terhadap temperatur yang dihasilkan pada ruang *cabin*. Parameter temperatur menjadi acuan utama dalam penelitian ini, dimana temperatur tersebut harus memenuhi standar batas kenyamanan penggunaan AC pada daerah tropis yaitu 20 °C-26 °C G (Lippsmeier, 1994).

4. Analisa dan Pembahasan

Perhitungan kapasitas panas dengan menggunakan persamaan (12)

$$\int_{T_{ref}}^T C_p dT = 29,52600 (303 - 293^0K) + \frac{-8,90000 \times 10^{-03}}{2} (303^2 - 293^2^0K) + \frac{3,81000 \times 10^{-05}}{3} (303^3 - 293^3^0K) + \frac{-3,26000 \times 10^{-08}}{4} (303^4 - 293^4^0K) + \frac{8,86000 \times 10^{-12}}{5} (303^5 - 293^5^0K) = 293,07 \text{ J/mol. K}$$

Tabel 3. Kapasitas panas

T (°C)	CP (J/mol.K)	Konstanta Cp Untuk Gas	
20	293.07	A	29,52600
22	234.49	B	-8,90000x10 ⁻⁰³
24	175.89	C	3,81000x10 ⁻⁰⁵
26	117.27	D	-3,26000x10 ⁻⁰⁸
		E	8,86000x10 ⁻¹²

Perhitungan tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor dengan persamaan (13)

$$W = \left(\frac{2 \times 0,84 \frac{\text{J}}{\text{m. s. co}} \times 293 \text{ K}}{293,068 \frac{\text{J}}{\text{mol. K}} \cdot \times 2600 \text{ kg/m}^3} \right)^{1/2}$$

$$W = 0.02542 \text{ m}$$

Tabel 4. Tebal optimum dalam menerima perpindahan kalor

λ (J/m.Co)	T2 (°C)	T2 (°K)	Cp (J/mol.K)	ρ (Kg/m ³)	W (m)
0.84	20	293	293.068	2600	0.02542
0.84	22	295	234.486	2600	0.02851
0.84	24	297	175.888	2600	0.03303
0.84	26	299	117.275	2600	0.04059

Untuk menghitung waktu optimum dalam cabin dapat menggunakan persamaan (14)

$$t_{op} = \frac{(0,0254)^2 \text{ m} \times 293,068 \frac{\text{J}}{\text{mol. K}} \times 2600 \text{ kg/m}^3}{2 \times 3600 \times 31,28 \text{ m}^2}$$

$$t_{op} = 0.00219 \text{ s}$$

Tabel 5. Waktu optimum dalam cabin

W (m)	CP (J/mol.K)	ρ (kg/m ³)	A (m ²)	t (hr)
0.02542	293.068	2600	31.28	0.00219
0.02851	234.486	2600	31.28	0.00220
0.03303	175.888	2600	31.28	0.00222
0.04059	117.275	2600	31.28	0.00223

Untuk menghitung waktu optimum dalam cabin dapat menggunakan persamaan (15).

$$P_{tra} = \frac{(0,84 \text{ J/m. s. co}) \times (31,28 \text{ m}^2) \times (30^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})}{0,005 \text{ m}^2}$$

$$P_{tra} = 52550,400 \text{ Watt}$$

Tabel 6. Daya transmisi perpindahan refrigerant pada evaporator

T1 (°F)	T2 (°F)	A (m ²)	d (m ²)	λ (J/m.Co)	P (Watt)
30	20	31.28	0.005	0.84	52550.400
30	22	31.28	0.005	0.84	42040.320
30	24	31.28	0.005	0.84	31530.240
30	26	31.28	0.005	0.84	21020.160

Perhitungan torsi mesin persamaan (16)

$$T = \frac{9,55 \times (6,5 \times 746 \text{ W})}{1500 \text{ rpm}}$$

$$T = 30,872 \text{ N/m}$$

Tabel 7. Torsi mesin

n (rpm)	P (Watt)	Konstanta	T N/m
1500	4849	9.55	30.872
2000	4849	9.55	23.154
2500	4849	9.55	18.523
3000	4849	9.55	15.436

Perhitungan daya *compressor* dengan persamaan (17)

$$P_{kom} = \frac{2 \times 3,14 \times 30,871 \text{ N/m} \times 1500 \text{ rpm}}{60}$$

$$P_{kom} = 4846,90 \text{ Watt}$$

Tabel 8. Daya Kompresor

T N/m	n (rpm)	π	P Watt
30.872	1500	3.14	4846.90
23.154	2000	3.14	4846.90
18.523	2500	3.14	4846.90
15.436	3000	3.14	4846.90

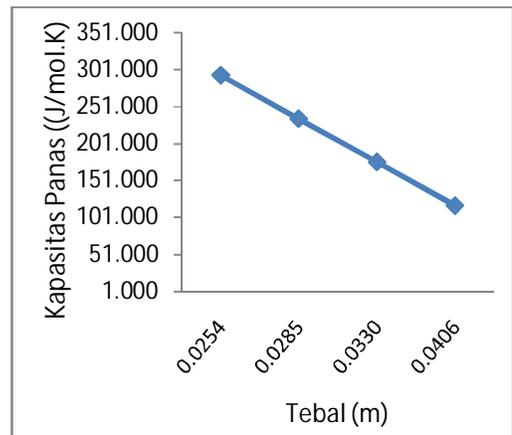
Pembahasan

Untuk menguraikan hasil analisis maka dilakukan pembahasan beberapa hubungan grafik berikut ini:

1. Hubungan kapasitas panas terhadap tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor

Tabel 9. Hubungan kapasitas panas terhadap tebal optimum dalam menahan perpindahan panas.

T (°C)	T (°K)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/mol.K)	W (m)
20	293	2600	293.068	0.0254
22	295	2600	234.486	0.0285
24	297	2600	175.888	0.0330
26	299	2600	117.275	0.0406



Gambar 3. Grafik hubungan kapasitas panas terhadap tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor

Pada grafik diatas hubungan kapasitas panas (C_p) terhadap tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor (W). Hasil didapatkan berturut-turut 0,0254 m dengan kapasitas panas 293,068 J/mol.K; 0,0285 m dengan kapasitas panas 234,486 J/mol.K; 0,0330 m dengan kapasitas panas 175,888 J/mol.K; dan 0,0406 m dengan nilai kapasitas panas 117,257 J/mol.K. Nilai kapasitas panas tertinggi diperoleh 293,068 J/mol.K pada tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor sebesar 0,0254 m, sedangkan nilai kapasitas panas terendah diperoleh 117,257 J/mol.K pada tebal optimum dalam menahan perpindahan kalor dengan nilai 0,0406 m. Hasil tersebut diatas menunjukkan bahwa semakin

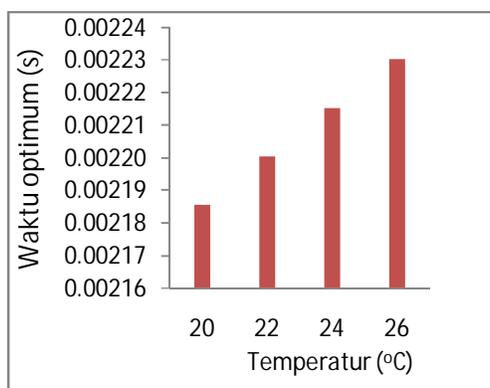
tinggi kapasitas panas terjadi maka semakin rendah tebal optimum yang dicapai dalam menahan perpindahan kalor.

2. Hubungan temperatur operasi terhadap waktu optimum dalam kabin

Tabel 10. Hubungan waktu optimum dalam kabin terhadap temperatur operasi

T (°C)	T (°K)	T (°F)	n (rpm)
20	293	68	1500
22	295	72	2000
24	297	75	2500
26	299	79	3000

W m	ρ (kg/m ³)	A (m ²)	t (s)
0.025417	2600	31.28	0.00219
0.028512	2600	31.28	0.00220
0.033031	2600	31.28	0.00222
0.040588	2600	31.28	0.00223



Gambar 4. Grafik hubungan waktu optimum dalam kabin terhadap temperatur operasi

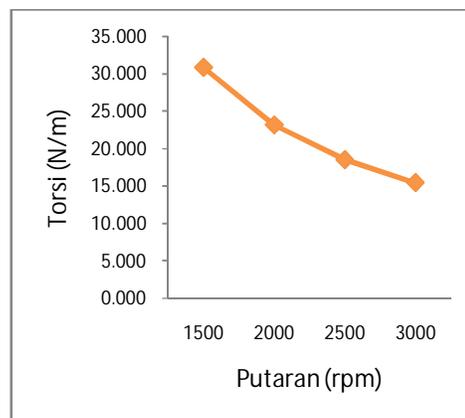
Pada grafik diatas menjelaskan hubungan waktu optimum dalam kabin (t) terhadap temperatur operasi yang dicapai (°C). Hasil didapatkan pengukuran diperoleh berturut-turut 0,00219 s pada temperatur operasi 20 °C; 0,00220 s dengan temperatur operasi 22 °C; 0,00222 s dengan temperatur operasi 24 °C; dan 0,00223 s

pada temperatur operasi 26 °C. Nilai perhitungan waktu optimum dalam kabin tertinggi diperoleh 0,00223 s pada temperatur operasi 26 °C, sedangkan nilai kapasitas panas terendah diperoleh 0,00219 s pada temperatur operasi 22 °C. pada grafik tersebut memperlihatkan bahwa semakin tinggi temperatur operasi yang terjadi maka semakin lama pula waktu optimum yang akan dicapai dalam kabin.

3. Hubungan putaran terhadap torsi mesin

Tabel 11. Hubungan putaran terhadap torsi mesin

P (Watt)	n (rpm)	T N/m
4849	1500	30.872
4849	2000	23.154
4849	2500	18.523
4849	3000	15.436



Gambar 5. Grafik hubungan putaran terhadap torsi mesin

Pada Gambar 5, grafik hubungan putaran (n) terhadap torsi mesin (T). Hasil perhitungan berturut-turut putaran 1500 rpm dengan torsi mesin 30,872 N/m; putaran 2000 rpm dengan torsi mesin 23,154 N/m; putaran 2500 rpm dengan torsi mesin 18,523 N/m; dan putaran 3000 rpm dengan torsi mesin 15,436 N/m. Nilai torsi tertinggi

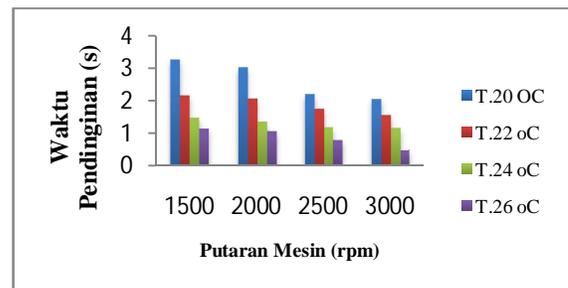
diperoleh 30,872 N/m pada putaran 1500 rpm, sedangkan nilai torsi terendah 15,436 N/m pada putaran 1500 rpm. Hubungan torsi dengan putaran berbanding terbalik dimana semakin tinggi putaran yang terjadi maka semakin rendah torsi yang dicapai oleh mesin tersebut.

rpm dengan temperatur 26 °C didapatkan waktu rata-rata 1,167 menit; putaran 2000 rpm didapatkan waktu rata-rata 1,087; putaran 2500 rpm didapatkan waktu rata-rata 0,813 menit; dan putaran 3000 rpm didapatkan waktu 0,507 menit.

Tabel 12. Data hasil pengujian waktu rata-rata yang didapatkan pada masing-masing temperatur

Temperatur (°C)	Putaran (rpm)			
	1500	2000	2500	3000
20	3.287	3.033	2.207	2.073
22	2.167	2.080	1.763	1.573
24	1.497	1.383	1.207	1.180
26	1.167	1.087	0.813	0.507

Pada tabel diatas memperlihatkan data rata-rata waktu yang dicapai setiap putaran mesin penggerak *compressor* pada berbagai temperatur ruang cabin. Pada variasi putaran mesin penggerak *compressor* 1500 rpm dengan temperatur cabin 20 °C didapatkan waktu rata-rata 3,287 menit; putaran 2000 rpm didapatkan waktu rata-rata 3,033; putaran 2500 rpm didapatkan waktu rata-rata 2,207 menit; dan putaran 3000 rpm didapatkan waktu 2,073 menit. Variasi putaran mesin penggerak *compressor* 1500 rpm dengan temperatur cabin 22 °C didapatkan waktu rata-rata 2,1677 menit; putaran 2000 rpm didapatkan waktu rata-rata 2,080; putaran 2500 rpm didapatkan waktu rata-rata 1,763 menit; dan putaran 3000 rpm didapatkan waktu 1,573 menit. Variasi putaran mesin penggerak *compressor* 1500 rpm dengan temperatur cabin 24 °C didapatkan waktu rata-rata 1,497 menit; putaran 2000 rpm didapatkan waktu rata-rata 1,383; putaran 2500 rpm didapatkan waktu rata-rata 1,207 menit; dan putaran 3000 rpm didapatkan waktu 1,180 menit. Variasi putaran mesin penggerak *compressor* 1500



Gambar 6. Grafik hubungan putaran terhadap waktu pendinginan

Pada Gambar 6, grafik menjelaskan hubungan putaran mesin penggerak kompresor, dimana dari gambar di atas, *trend line* grafik mengalami penurunan secara keseluruhan setiap putarannya. Pada temperatur 20 °C dengan variasi putaran 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm didapatkan waktu yang paling cepat untuk mendinginkan cabin yaitu 2,073 menit pada putaran 3000 rpm. Pada temperatur 22 °C dengan variasi putaran 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm didapatkan waktu yang paling cepat untuk mendinginkan cabin yaitu 1,573 menit pada putaran 3000 rpm. Pada temperatur 24 °C dengan variasi putaran 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm didapatkan waktu yang paling cepat untuk mendinginkan cabin yaitu 1,180 menit pada putaran 3000 rpm. Pada temperatur 26 °C dengan variasi putaran 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm didapatkan waktu yang paling cepat untuk mendinginkan cabin yaitu 0,507 menit pada putaran 3000 rpm. dari data tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi putaran mesin penggerak *compressor* maka semakin singkat waktu yang

dibutuhkan untuk mendinginkan ruang cabin. Hubungan torsi dengan putaran mesin penggerak compressor berbanding terbalik dimana semakin tinggi putaran penggerak compressor yang terjadi maka semakin rendah torsi yang dicapai oleh mesin penggerak compressor tersebut sedangkan hubungan putaran mesin penggerak *compressor* dengan kapasitas kalor berbanding lurus dimana semakin tinggi putaran mesin penggerak *compressor* maka kapasitas panas yang dicapai semakin besar dalam menyerap panas dan waktu yang dibutuhkan lebih singkat.

Kesimpulan

Adapun kesimpulan penelitian yang telah dilakukan adalah kecepatan putar berpengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan cabin dimana semakin tinggi putaran kerja *compressor* semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan cabin. Pada putaran mesin penggerak *compressor* 3000 rpm diperoleh waktu yang paling singkat untuk mencapai suhu 20 °C yaitu 2.073 menit.

Batas kenyamanan manusia pada temperatur 20 °C, 22 °C, 24 °C, 26 °C dapat dicapai dengan menaikkan kecepatan putar mesin penggerak *compressor* yaitu 3000 rpm.

Saran

Setelah dilakukan penelitian maka saran-saran penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian sistem refrigerasi dengan memberikan beban pendinginan.
2. Sebaiknya alat-alat ukur tekanan dan temperatur dilengkapi untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2006. *Materi Pelatihan Berbasis Kompetensi Sektor Otomotif Sub Sektor Kendaraan Ringan*. Direktorat Jenderal Pembinaan Pelatihan dan Produktivitas. Jakarta.
- Arismunandar, Wiranto dan Sito, Heizo, 2002. *Penyegaran Udara*. PT. Pradnya Paramita : Jakarta 1981.
- Dincer, I., dan Kanoglu, M., 2010. *Refrigeration System and Application. Second Edition*. John Wiley dan Sons: Chichester.
- George Lippsmeier, 1994, *Tropenbau Building in the Tropics, Bangunan Tropis* (terj.), Erlangga: Jakarta.
- Himmelblau, Carl.L, Yaws, 1996, *Edisi 6 Appendix E*, Vol 1-4.
- Kutz, Myer, 2006. *Heat Transfer Calculation*. USA. Mc. Graw-Hill
- Sudjana, 1996. *Metode Penelitian*. Tarsito : Bandung.
- Sudjana, 2006, *Metoda Statistik*. Edisi 6. Tarsito : Bandung.