

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
INTISARI	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Metodologi Perancangan	3
1.6.1. Obyek Perancangan	3
1.6.2. Data-data yang Dibutuhkan	3
1.6.3. Metode Pengumpulan Data	4
1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir	5

BAB II MESIN REFRIGERASI

2.1. Sejarah Perkembangan Sistem Pendingin	7
2.2. Proses Refrigerasi	8
2.3. Prinsip Kerja Mesin pendingin	11
2.4. Klasifikasi Sistem Pengondisian Udara	16
2.5. Kriteria Kenyamanan	19
2.6. Sistem Pengondisian Udara Bus	20

BAB III PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN

3.1. Sumber-sumber Beban Pendinginan	31
3.2. Data Perancangan	32
3.3. Kondisi Perancangan	35
3.4. Perhitungan Beban Pendinginan	36
3.4.1. Perhitungan Panas Sensibel Melalui Struktur Bus	36
3.4.2. Perhitungan Panas Sensibel Radiasi Matahari Melalui Kaca	57
3.4.3. Perhitungan Panas Sensibel Penumpang	60

3.4.5.	Perhitungan Panas Sensibel Pembukaan Pintu dan Ventilasi	63
3.4.6.	Perhitungan Panas Laten Penumpang	64
3.4.7.	Perhitungan Panas Laten Pembukaan Pintu dan Ventilasi	65
3.5.	Beban Pendinginan Total	66
3.5.1.	Bus Diam	66
3.5.2.	Bus Melaju dengan Kecepatan 80 km/jam	68

BAB IV PEMILIHAN UNIT MESIN PENDINGIN

4.1.	Analisis Psikrometri	70
4.2.	Unit Mesin Pendingin Terpilih	78
4.2.1.	Unit Mesin Pendingin Terpilih oleh Perusahaan	78
4.2.2.	Unit Mesin Pendingin Terpilih yang Disarankan	79

BAB V SISTEM DISTRIBUSI UDARA

5.1.	Distribusi Udara dalam Ruangan	82
5.2.	Pemilihan Distributor	83
5.3.	Saluran Udara	84
5.4.	Klasifikasi Sistem Saluran Udara	86
5.4.1.	Klasifikasi Berdasarkan Kecepatan	86
5.4.2.	Klasifikasi Berdasarkan Tekanan	86
5.5.	Faktor Ekonomi dalam Desain Saluran Distribusi Udara	87
5.6.	Perancangan Saluran Distribusi Udara	87
5.6.1.	Pemilihan Metode Perancangan	87
5.6.2.	Perhitungan Ukuran Saluran Udara	88
5.7.	Perhitungan Blower	97

BAB VI PIPA, KOMPRESOR DAN KATUP EKSPANSI

6.1.	Kondisi Kerja Refrigeran dan Udara	102
6.2.	Sistem Perpipaan	103
6.2.1.	Pipa pada Saluran Isap	104
6.2.2.	Pipa Cair Antara <i>Receiver</i> Dan Katup Ekspansi	105
6.2.3.	Pipa Cair Antara <i>Receiver</i> Dan Kondensor	106
6.2.4.	Pipa pada Saluran Tekan	107
6.3.	Kompresor	108
6.3.1.	Pemilihan Jenis Kompresor	108
6.3.2.	Unit kompresor terpilih	109
6.3.3.	Perhitungan Kompresor	110
6.4.	Katup Ekspansi	118
6.4.1.	Pemilihan Katup Ekspansi	118
6.4.2.	Kapasitas Katup Ekspansi	119

BAB VII ALAT-ALAT KONTROL DAN BANTU

7.1.	Sistem kontrol	121
7.1.1.	Fungsi Sistem Kontrol	121
7.1.2.	Cara Kerja Sistem Kontrol	122

7.2. Alat-alat Kontrol dan Bantu	123
7.2.1. Alat Kontrol Aliran Refrigeran	123
7.2.2. Alat Kontrol Temperatur	126
7.2.3. Alat Kontrol Kelembaban	127
7.3. Alat-alat Bantu	127
7.4. Skema Beberapa Alat pada Sistem Refrigerasi Bus	136

BAB VIII PERAWATAN SISTEM PENGONDISIAN UDARA

8.1. Perawatan Sistem Secara Umum	138
8.2. Perawatan Rutin	140
8.3. Beberapa Alat Bantu Perawatan	141
8.4. Beberapa Proses Perawatan	146
8.5. Pemeriksaan Setelah Terjadi Kecelakaan	149
8.6. Pemasangan Unit Pengondisian Udara pada Bus	150

BAB IX DIAGNOSIS PERMASALAHAN

9.1. Inklusi dalam Sistem Refrigerasi	152
9.1.1. Musuh Pokok Sistem Pengkondisi Udara	152
9.1.2. Dampak Inklusi Udara, Uap dan Kotoran pada Sistem	153
9.2. Masalah Tekanan Kompresor	156
9.3. Masalah Sistem Refrigerasi	157
9.4. Permasalahan Mekanik	159
9.5. Permasalahan Saluran Udara	161
9.6. Permasalahan Kesehatan	164

BAB X KESIMPULAN

10.1. Beban Pendinginan	166
10.2. Unit Mesin Pendingin	166
10.3. Blower Evaporator	167
10.4. Ukuran Pipa Refrigeran	167
10.5. Kompresor	167
10.6. Katup Ekspansi	168
10.5. Alat-alat Kontrol dan Bantu	168

DAFTAR PUSTAKA	170
LAMPIRAN	172

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Prinsip Kerja Mesin Pendingin	12
Gambar 2.2.	Skema Mesin Pendingin Sistem Kompresi Uap	13
Gambar 2.3.	Diagram P-h Proses Refrigerasi Tekanan Uap	14
Gambar 2.4.	<i>Hydronic Chilled Water</i> untuk Pendinginan	16
Gambar 2.5.	<i>All Air Systems</i> untuk Pendinginan	17
Gambar 2.6.	Bagan Sistem Pendingin pada Kendaraan	22
Gambar 2.7.	Kurva Hubungan Antara Kecepatan Kendaraan, Kapasitas Pendinginan dan Daya yang Dibutuhkan Kompresor	23
Gambar 2.8.	Instalasi Unit Pengkondisi Udara model <i>Roof Mounted</i>	26
Gambar 2.9.	Jalur Refrigeran dan Udara pada Mesin Pendingin Bus	28
Gambar 2.10.	Aliran Udara yang Melalui Kondensor	29
Gambar 3.1.	Bus <i>Cyclone Genesis</i> pada <i>Chassis Mercedes Benz OH 1525...</i>	34
Gambar 3.2.	Penampang Struktur Lambung	38
Gambar 3.3.	Penampang Struktur <i>Roof</i>	46
Gambar 3.4.	Struktur <i>Floor</i> yang Berbatasan dengan Jalan	50
Gambar 3.5.	Struktur bagian pembatas antara mesin dengan kabin	52
Gambar 3.6.	Grafik Laju Perpindahan Panas Matahari pada Bulan Desember dan Arah Hadap Bus Selatan	60
Gambar 4.1.	Skema Siklus Pengondisian Udara pada Bus	71
Gambar 4.2.	Proses Pendinginan dengan Udara Ventilasi dan Faktor <i>Bypass</i>	71
Gambar 4.3.	Proses Pengondisian Udara Bus yang Digambar pada Diagram Psikrometri	77
Gambar 5.1.	Skema Aliran Udara pada Sistem Pengondisian Udara	82
Gambar 5.2.	<i>Louver</i> Jenis Kelopak Mata	84
Gambar 5.3.	Skema Saluran Suplai pada Ruang Bus	89
Gambar 5.4.	<i>Layout</i> Saluran Suplai	95

Gambar 6.1.	Diagram P - h Siklus Refrigerasi Ideal	102
Gambar 6.2.	TEV seri T	120
Gambar 7.1.	Prinsip Kerja Sistem Kontrol	123
Gambar 7.2.	Kontrol Elektrik Tipe Solenoid	124
Gambar 7.3.	Katub Ekspansi Termostatik	124
Gambar 7.4.	Katub Ekspansi dengan Distributor	125
Gambar 7.5.	Termostat	126
Gambar 7.6.	Konstruksi Humidistat	127
Gambar 7.7.	Konstruksi <i>Receiver</i>	128
Gambar 7.8.	Pemisah Minyak Pelumas	129
Gambar 7.9.	<i>Drier</i>	130
Gambar 7.10.	<i>Receiver Drier</i>	130
Gambar 7.11.	<i>Sight Glass</i>	131
Gambar 7.12.	Akumulator	133
Gambar 7.13.	Distributor Tipe Penurunan Tekanan	133
Gambar 7.14.	Distributor Tipe Venturi	134
Gambar 7.15.	<i>Vibration Eliminator</i>	134
Gambar 7.16.	Pemasangan <i>Magnetic Clutch</i> pada kompresor	135
Gambar 7.17.	Konstruksi <i>Stationary Field Clutch</i>	136
Gambar 7.18.	Skema Peralatan dan Aliran Refrigeran	137
Gambar 8.1.	<i>Gauge Set</i>	142
Gambar 8.2.	<i>Charging Station</i> untuk Perawatan Sistem	143
Gambar 8.3.	Detektor Tipe <i>Halide Torch</i>	145
Gambar 8.4.	Detektor Tipe Elektronik	145
Gambar 8.5.	Gambar Skematik Hubungan <i>Gauge Set</i> , Pompa Vakum dan Tangki Refrigeran Untuk Tes Sistem, Evakuasi dan <i>Charging</i>	147
Gambar 8.6.	Hubungan <i>Gauges</i> dan Pompa Vakum untuk Evakuasi	147
Gambar 8.7.	Hubungan Antara <i>Gauges</i> , <i>Refrigeran Manifold</i> dan Tangki Refrigeran untuk <i>Partial Charging</i>	148

Gambar 9.2.	Desain Saluran Udara <i>Letter U</i>	163
Gambar 9.4.	Desain Saluran Udara Bus pada Umumnya	164

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Struktur Bus dan Bahan Penyusunnya	35
Tabel 3.2.	Nilai k dan C pada Struktur Lambung	38
Tabel 3.3.	Nilai k dan C pada Struktur <i>Roof</i>	46
Tabel 3.4.	Nilai k dan C pada Penyusun <i>Floor</i> -Bagasi	49
Tabel 3.5.	Nilai k dan C pada Stuktur <i>Floor</i> yang Berbatasan dengan Jalan	50
Tabel 3.6.	Nilai k dan C pada Struktur Pembatas Mesin dan Kabin.	51
Tabel 3.7.	Laju Perpindahan Kalor Konduksi Total Melalui Struktur Bus (Watt)	57
Tabel 3.8.	Nilai SHGF, SC dan CLF pada Solar Heat Gain Maksimum	59
Tabel 5.1.	Penentuan Ukuran Saluran Udara	91
Tabel 5.2.	Panjang Ekuivalen Saluran Suplai pada Sesi A – 1	92
Tabel 5.3.	Panjang Ekuivalen Saluran Suplai pada Sesi A – 10	92
Tabel 8.1.	Contoh Analisis Pembacaan Tekanan dengan <i>Gauge Set</i>	143
Tabel 9.1.	Kontaminan dan Efek yang Ditimbulkan	155

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Gambar L.1. Dimensi Bus <i>Cyclone Genesis</i>	172
Lampiran 2.	Tabel L.1. Spesifikasi Bus <i>Cyclone</i>	173
Lampiran 3.	Gambar L.2. Spesifikasi Sutrak AC 231 Tropic	174
Lampiran 4.	Tabel L.2. Spesifikasi Sutrak AC 350	175
Lampiran 5.	Gambar L.3. Spesifikasi Kompresor Sutrak SCM 4/28	176
Lampiran 6.	Tabel L.3. Kondisi Iklim untuk Berbagai Negara	177
Lampiran 7.	Tabel L.4. Properti Termal Beberapa Bahan	178
Lampiran 8.	Tabel L.5. Properti Termal Beberapa Bahan	180
Lampiran 9.	Tabel L.6. Konduktansi Termal Sekat Udara.....	181
Lampiran 10.	Tabel L.7. Koefisien Perpindahan Panas Permukaan	181
Lampiran 11.	Tabel L.8. Properti ABS (<i>Acrylonitrile Butadene Styrene</i>)	182
Lampiran 12.	Tabel L.9. Emisivitas Beberapa Bahan	183
Lampiran 13.	Tabel L.10. Sifat-sifat Fisis Udara pada Tekanan Atmosfer	184
Lampiran 14.	Tabel L.11. Panas Matahari Lewat Kaca	185
Lampiran 15.	Tabel L.12. Koefisien <i>Shading</i> Kaca	186
Lampiran 16.	Tabel L.13. <i>Over All Factor</i>	187
Lampiran 17.	Tabel L.14. Faktor <i>Cooling Load</i> Kaca Tanpa <i>Interior Shading</i>	188
Lampiran 18.	Tabel L.15. Panas Penumpang	188
Lampiran 19.	Tabel L.16. Infiltrasi Melalui Pintu	189
Lampiran 20.	Gambar L.4. Panjang Ekuivalen untuk Beberapa Sambungan...	189
Lampiran 20.	Gambar L.5. <i>Psychrometric Chart</i>	190
Lampiran 21.	Gambar L.6. Rugi Gesek pada Saluran Udara	191
Lampiran 22.	Tabel L.17. Ukuran Saluran Udara	192
Lampiran 23.	Tabel L.18. Persen Luasan Area untuk Gesekan Sama	193
Lampiran 24.	Tabel L.19. Kecepatan Udara Maksimum pada Saluran	193
Lampiran 25.	Tabel L.20. Panjang Ekuivalen untuk Belokan	194

Lampiran 28.	Tabel L.22. Properti Uap Panas Refrigeran 134a	196
Lampiran 29.	Tabel L.23. Pilihan Katub Ekspansi Termostatik	197
Lampiran 30.	Tabel L.24. Faktor Koreksi K_t dan $K_{\Delta p}$	198
Lampiran 31.	Tabel L.25. Panjang Ekuivalen Katub dan Sambungan	198
Lampiran 32.	Tabel L.26. Pemilihan Ukuran Pipa Tekan dan <i>Liquid Condensate</i>	199
Lampiran 33.	Tabel L.27. Pemilihan Ukuran Pipa Isap dan <i>Liquid Line</i>	200
Lampiran 34.	Gambar L.7. Grafik Penurunan Tekanan Refrigeran pada Pipa	202

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ΔP_s	=	Penurunan tekanan pada plenum fan (N/m^2)
ΔP_{st}	=	Total head statis (N/m^2)
Δx	=	Tebal bahan penyusun (m)
A	=	Luasan bidang (m^2)
A_{PS}	=	Luasan permukaan proyeksi (m^2)
A_s	=	Luasan total permukaan bus (m^2)
BHP	=	<i>Break Horse Power</i>
BPF	=	Faktor <i>bypass</i>
C	=	Konduktansi termal bahan penyusun bus ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
C_v	=	<i>Clearance volume</i>
CLF	=	<i>Cooling load factor</i> untuk penumpang atau kaca
CLTD	=	<i>Cooling Load Temperature Difference</i> ($^\circ C$)
c_m	=	Kecepatan rata-rata torak (m/s)
cmm	=	<i>Cubic Meter per Minute</i>
CMM_{sup}	=	Debit udara suplai (m^3/menit)
CMM_{balik}	=	Debit udara balik (m^3/menit)
CMM_{vent}	=	Debit udara ventilasi (m^3/menit)
CMM_{door}	=	Jumlah udara yang masuk karena pembukaan pintu, (m^3/menit)
cms	=	<i>Cubic Meter per Second</i>
D	=	Diameter torak (m)
ERLH	=	<i>Effective Room Latent Heat</i> (Watt)
ERSH	=	<i>Effective Room Sensible Heat</i> (Watt)
ERTH	=	<i>Effective Room Total Heat</i> (Watt)
ESHF	=	<i>Effective Sensible Heat Factor</i>
f_i	=	Koefisien perpindahan kalor konveksi dan radiasi pada permukaan dalam ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
f_o	=	Koefisien perpindahan kalor konveksi dan radiasi pada

fpm	=	<i>Feet per Minute</i>
G	=	Fluks panas dari iradiasi matahari (W/m^2)
GSHF	=	<i>Grand Sensible Heat Factor</i>
GTH	=	<i>Grand Total Heat (Watt)</i>
h	=	Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
hd	=	Entalpi refrigeran keluar kompresor (J/kg)
hs	=	Entalpi refrigeran masuk kompresor (J/kg)
h _{ke}	=	Entalpi refrigeran keluar evaporator (J/kg)
h _m	=	Koefisien konveksi rata-rata ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
h _{me}	=	Entalpi refrigeran masuk evaporator (J/kg)
i	=	Jumlah silinder kompresor
k	=	Konduktivitas termal bahan penyusun bus ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$)
k _{ud}	=	Konduktivitas termal udara ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$)
L	=	Panjang langkah torak (m)
L/D	=	Perbandingan panjang langkah dengan diameter torak
m	=	Eksponen politropik
mpm	=	<i>Meter per Minute</i>
m _{ref}	=	Laju aliran massa refrigeran (kg/s)
N	=	Putaran poros kompresor (rpm)
n _{org}	=	Jumlah penumpang
Nu _m	=	Angka Nusselt rata-rata
OALH	=	<i>Outside Air Latent Heat (Watt)</i>
OASH	=	<i>Outside Air Sensible Heat (Watt)</i>
Pd	=	Tekanan refrigeran keluar kompresor (kPa)
Pr	=	Bilangan <i>Prandtl</i>
Ps	=	Tekanan refrigeran masuk kompresor (kPa)
Pt	=	Penurunan tekanan statik total (N/m^2)
Q	=	Laju perpindahan kalor (Watt)
Q _{floor-bagasi}	=	Laju perpindahan kalor konduksi lewat struktur <i>floor</i> yang berbatasan dengan bagasi (Watt)

$Q_{\text{floor-jalan}}$	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat struktur <i>floor</i> yang berbatasan dengan jalan (Watt)
$Q_{\text{kaca belakang}}$	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat kaca belakang (Watt)
$Q_{\text{kaca depan}}$	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat kaca depan (Watt)
$Q_{\text{kaca samping}}$	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat kaca samping (Watt)
Q_{koil}	= Beban total koil (Watt)
q_{kond}	= Fluks panas secara konduksi (W/m^2)
q_{konv}	= Fluks panas secara konveksi (W/m^2)
Q_{lambung}	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat struktur lambung (Watt)
Q_{lamp}	= Laju perpindahan kalor dari lampu (Watt)
Q_{Ldoor}	= Laju perpindahan kalor laten karena pembukaan pintu (kW)
Q_{Lkoil}	= Beban laten koil (Watt)
q_{Lorg}	= Laju kalor laten tiap orang (Watt)
Q_{Lorg}	= Laju kalor laten penumpang (kW)
$Q_{\text{mesin-kabin}}$	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat struktur pembatas antara ruang mesindan ruang penumpang (Watt)
q_{rad}	= Fluks panas secara radiasi dari dinding luar bus ke udara lingkungan (W/m^2)
Q_{roof}	= Laju perpindahan kalor konduksi lewat struktur <i>roof</i> (Watt)
Q_{Sdoor}	= Laju perpindahan kalor sensibel karena pembukaan pintu (kW)
Q_{Skoil}	= Beban sensibel koil (Watt)
Q_{Sorg}	= Laju kalor sensibel penumpang (Watt)
q_{Sorg}	= Laju kalor sensibel tiap orang (Watt)
R	= Tahanan termal ($\text{m}^2\text{C/W}$)
r	= Perbandingan kompresi kompresor
Re	= Bilangan Reynolds
Re_c	= Bilangan Reynolds kritis
Re_L	= Bilangan Reynolds pada ujung belakang bus
RLH	= <i>Room Latent Heat</i> (Watt)

RSHF	=	<i>Room Sensible Heat Factor</i>
RTH	=	<i>Room Sensible Heat (Watt)</i>
SC	=	<i>Shade Coefficient</i>
SHGF	=	<i>Solar Heat Gain Factor (Watt/m²)</i>
T _{adp}	=	Temperatur jenuh koil evaporator (°C)
T _C	=	Temperatur kabin bus (°C, K)
T _{camp}	=	Temperatur udara suplai (°C)
T _d	=	Temperatur refrigeran keluar kompresor (°C, K)
TLH	=	<i>Total Latent Heat (Watt)</i>
Total Watts	=	Jumlah total daya lampu (Watt)
T _s	=	Temperatur refrigeran masuk kompresor (°C, K)
TSH	=	<i>Total Sensible Heat (Watt)</i>
T _{sup}	=	Temperatur udara campuran (°C)
T _{sur}	=	Temperatur absolut udara lingkungan (K)
T _w	=	Temperatur dinding luar bus (K, °C)
U	=	Koefisien perpindahan kalor total (W/m ² °C)
U _∞	=	Kecepatan udara yang mengenai dinding bus (m/s)
V	=	Kecepatan angin (mil/jam, ft/s, m/s)
V _d	=	Kecepatan akhir sesi (fpm)
vd	=	Volume jenis refrigeran keluar kompresor (m ³ /kg)
V _f	=	Kecepatan awal sesi (fpm)
V _p	=	Volume langkah torak (m ³ /min)
vs	=	Volume jenis refrigeran masuk kompresor (m ³ /kg)
V _s	=	Volume gas aktual yang diisap kompresor (m ³ /s)
W _{kp}	=	Kerja kompresor (Watt)
W _{prs}	=	Daya penggerak kompresor (Watt)
x	=	Jarak titik yang ditinjau dari ujung depan bus (m)
ε	=	Emisivitas permukaan dinding bus
η _{ad}	=	Effisiensi adiabatik kompresor
η _v	=	Effisiensi volumetrik

- ρ_a = Densitas udara (kg/m^3)
- σ = Konstanta Stefan-Boltzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
- ν = Viskositas kinematik udara (m^2/s)
- ω_c = Kelembaban udara dalam ruangan bus (kg/kg)
- ω_{sur} = Kelembaban udara luar (kg/kg)