UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

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

BAB I PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Maksud dan Tujuan 2
1.3. Manfaat Perancangan 2
1.4 Permasalahan 3
1.5 Batasan Masalah 3

BAB II SIKLUS REFRIGERASI dan PEMILIHAN JENIS KOMPRESOR
2.1. *The Reserves Carnot Cycles* 4
2.2. *Ideal Vapor-Compression Refrigeration Cycle* 5
2.3 *Actual Vapor-Compression Refrigerating Cycle* 6
2.4 *Refrigerant* 8
2.5 Kompresor 11
2.5.1. Dasar teori kompresi gas 12
2.5.2. Proses-proses kompresi 13

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5.3. Pemilihan jenis kompresor 15

BAB III PERHITUNGAN DIMENSI UTAMA KOMPRESOR

3.1. Dasar Perhitungan Dimensi Utama Kompresor 23

3.2. Perhitungan Dimensi Utama Kompresor 24

3.2.1. Langkah pertama adalah mencari laju volume ($\mathring{V}$) 24

3.2.2. Langkah kedua adalah menentukan kecepatan 25

3.2.3. Langkah yang ketiga adalah menentukan efisiensi volumetris keseluruhan (η_{ov}) 26

3.2.4. Langkah yang keempat adalah perhitungan dimensi utama dari *reciprocating compressor* 27

BAB IV PERANCANGAN BAGIAN-BAGIAN UTAMA KOMPRESOR

4.1. Dasar Teori Mekanisme Engkol 37

4.2. Menentukan Ukuran dari Silinder 40

4.2.1. Perhitungan tebal dan panjang silinder 40

4.2.2. Perhitungan kepala silinder 45

4.2.3. Perhitungan baut 47

4.3. Menentukan Ukuran Torak 48

4.3.1. Perhitungan kepala torak 49

4.3.2. Perhitungan panjang torak 51

4.3.3. Perhitungan tebal dinding torak 51

4.3.4. Perhitungan pena torak 53

4.4. Menentukan Ukuran Batang Hubung 58

4.4.1. Perhitungan dimensi penampang tangkai batang hubung 59

4.4.2. Perhitungan dimensi ujung kecil 66

4.4.3. Perhitungan dimensi ujung besar 69

BAB V PERENCANAAN POROS ENGKOL dan KATUP

5.1. Perencanaan Poros Engkol 73

5.1.1. Gaya akibat tekanan gas dalam silinder 74

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.2. Ketika engkol berada dititik mati 78
5.1.3. Ketika engkol berada sudut dimana momen puntirnya maksimum 80
5.2. Beban Pengimbang 81
5.3. Menentukan Ukuran Katup Kompresor 84
5.3.1. Desain katup kompresor 85
5.3.2. Perhitungan katup kompresor 86
5.3.3. Perhitungan katup isap 87
5.3.4. Perhitungan katup buang 88

BAB VI KOMPONEN PENDUKUNG dan PELUMASAN

6.1. *Bedplate* 91
6.2. Rumah Kompresor 92
6.3. Tangki 93
6.4. Pegas 93
6.5. Motor Penggerak 94
6.6. Bantalan Poros Engkol 95
6.7. *Gasket* 98
6.8. Pelumasan 98
6.8.1. Sistem pelumasan
6.8.2. Laju volume minyak pelumas

BAB VII PERFORMA *RECIPROCATING COMPRESSOR*

7.1. Pengaruh Temperatur *Evaporator* pada Kapasitas *Refrigerasi* 105
7.1.1. Menghitung pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap efisiensi volumetris. 105
7.1.2. Menghitung pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap volume spesifik 109
7.1.3. Menghitung pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap laju massa 111
7.1.4. Menghitung pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap efek refrigerasi 113

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa 11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

7.2. Pengaruh Temperatur *Evaporator* pada Kapasitas *Refrigerasi* 117

7.2.1. Menghitung pengaruh temperatur *kondensasi* terhadap efisiensi volumetris. 118

7.2.2. Menghitung pengaruh temperatur *kondensasi* terhadap efek *refrigerasi*. 119

7.2.3. Menghitung pengaruh temperatur kondensasi terhadap kapasitas refrigerasi. 121

7.3. Pengaruh Temperatur *Evaporator* pada Daya Kompresor. 122

BAB VIII PENUTUP 124

DAFTAR PUSTAKA 127

LAMPIRAN 128

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Diagram T-s *Reverse Carnot Cycle*	4
Gambar 2.2.	Diagram (T-s) Ideal vapor-compression refrigeration cycle	5
Gambar 2.3.	Diagram (T-s) Ideal vapor-compression refrigeration cycle	6
Gambar 2.4.	Diagram P-h Actual vapor-compression refrigeration cycle	7
Gambar 2.5.	Struktur molekul dari beberapa *refrigerant halocarbon*	9
Gambar 2.6.	Bagan jenis-jenis kompresor	11
Gambar 2.7.	Dasar teori kompresor	12
Gambar 2.8.	Kurva proses-proses kompresi	13
Gambar 2.9.	Diagram T-s	16
Gambar 2.9.	Diagram P-h	16
Gambar 3.1.	Diagram P-V untuk kompresor	23
Gambar 3.2.	Pengaruh tahanan aliran pada sisi masuk terhadap efisiensi volumetris	30
Gambar 3.3.	Diagram aktual T-s	31
Gambar 4.1.	Bagian-bagian utama kompresor torak jenis *hermetic*	36
Gambar 4.2.	Mekanisme engkol	37
Gambar 4.3.	Grafik koefisien permukaan dalam dan luar	42
Gambar 4.4.	Desain kepala silinder	45
Gambar 4.5.	Desain torak	48
Gambar 4.6.	Desain pena torak	53
Gambar 4.7.	Pembebanan pada pena torak	54
Gambar 4.8.	Potongan melintang dari tangkai batang hubung	58
Gambar 4.9.	Pengaruh pembebanan	59
Gambar 4.10.	Perbandingan momen inersia penampang	61
Gambar 4.11.	Distribusi tegangan	61
Gambar 4.12.	Penampang batang hubung	63
Gambar 4.13.	Desain ujung kecil	66
Gambar 4.14.	Gaya-gaya yang menimbulkan tegangan	66

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.15. Desain ujung besar 69
Gambar 4.16. Gaya-gaya yang menimbulkan tegangan 69
Gambar 5.1. Desain poros engkol 73
Gambar 5.2. Pembukaan katup buang 74
Gambar 5.3. Pembukaan katup hisap 75
Gambar 5.4. Diagram Indikator 76
Gambar 5.5. Diagram indikator 76
Gambar 5.6. Pembebanan pada *overhung crankshaft* 78
Gambar 5.7. SFD dan BMD 79
Gambar 5.8. Balancing gaya sentrifugal pada mekanisme engkol 82
Gambar 5.9. Desain beban pengimbang 83
Gambar 5.10. Jenis-jenis valve otomatis untuk kompresor 85
Gambar 5.11. Desain katup isap 88
Gambar 5.11. Desain katup buang 89
Gambar 6.1. Tangki 93
Gambar 6.2. Desain pegas 94
Gambar 6.3. Hubungan bilangan sommerfeld kerugian daya 96
Gambar 6.4. Hubungan antara ε dan h terhadap bilangan sommerfeld 97
Gambar 6.5. *Viscositas* 100
Gambar 6.6. Sistem pelumasan 102
Gambar 7.1. Grafik efisiensi volumetris dari kompresor ammonia 8 silinder Sabroe 108L yang beroperasi pada 1170 rpm 106
Gambar 7.2. Grafik pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi volumetris 107
Gambar 7.3. Grafik efek temperatur *evaporasi* pada laju aliran volume yang di ukur pada sisi isap dari kompresor 8 silinder dengan d*isplacement volume* 0,123 m^3/s(260 cfm) dan beroperasi pada temperatur *kondensasi* 30 ^oC (86 ^oF) 108
Gambar 7.4. Grafik pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap laju volume 109
Gambar 7.5. Grafik variasi volume spesifik dari amonia (uap) pada sisi hisap dengan variasi temperatur *evaporasi* dari kompresor 8 silinder

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan*displacement volum* 0,123 m^3/s (260 cfm) dan beroperasi pada temperatur *kondensasi* 30 °C (86 °F) 109

Gambar 7.6. Grafik variasi volume spesifik dengan variasi temperatur *evaporasi* 111

Gambar 7.7. Grafik Pengaruh temperatur *evaporasi* pada laju aliran massa amonia dengan kompresor *reciprocating* 8 silinder Sabroe 108L yang beroperasi pada 1170 rpm 111

Gambar 7.8. Grafik variasi laju massa dengan variasi temperatur *evaporasi* 113

Gambar 7.9. Grafik efek *refrigerasi* amonia sebagai fungsi dari temperatur *evaporasi* dengan temperatur *kondensasi* 30 °C (86 °F) dengan asumsi *sub cooling* 5,6 °C (10 °F) dan *superheat* 5,6 °C (10 °F) 113

Gambar 7.10. Variasi efek *refrigerasi* dengan variasi temperatur *evaporasi* 115

Gambar 7.11. Grafik efek dari temperatur *evaporator* terhadap kapasitas *refrigerasi* dari kompresor amonia 8 silinder dengan displacement rate 0,123 m^3/s (260 cfm) dan beroperasi pada temperatur kondensasi 30 °C (86 °F) 115

Gambar 7.12. Grafik variasi kapasitas *refrigerasi* dengan variasi temperatur *evaporasi* 117

Gambar 7.13. Grafik efek temperatur *kondensasi* terhadap kapasitas *refrigerasi* dari kompresor amonia 8 silinder dengan *displacement rate* 0,123 m^3/s (260 cfm) dan beroperasi pada temperatur *evaporasi* -10 °C (14°F) 117

Gambar 7.14. Grafik variasi efisiensi volumetris dengan variasi temperatur *kondensasi* 119

Gambar 7.15. Grafik variasi efek *refrigerasi* dengan variasi temperatur *kondensasi* 120

Gambar 7.16. Grafik variasi kapasitas *refrigerasi* dengan variasi temperatur *kondensasi* 121

Gambar 7.17. Grafik efek temperatur *evaporasi* pada kerja kompresor ideal 122

Gambar 7.18. Grafik variasi *power* dengan variasi temperatur *kondensasi* 123

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Ozone-deplection potential 1

Tabel 2.1. Tabel Pencarian T_2 (P_2=185,82 psia, s_2 = 0,2236 Btu/(lbm.R) 18

Tabel 2.2. Tabel Pencarian enthalpi (P_2 =185,82 psia, temperatur 139 °F) 19

Tabel 2.3. Tabel Pencarian volume jenis (P_2 = 185,82 psia, T_2 = 139 °F) 19

Tabel 3.1. Kecepatan *Sinkron* dan operasional untuk motor dengan jumlah kutub dua dan empat. Kecepatan operasional adalah harga perkiraan. 25

Tabel 3.2. Perhitungan *properties R-134a* pada kondisi aktual sisi keluar 32

Tabel 4.1. Penyimpangan akibat λ terhadap x 38

Tabel 4.2. Penyimpangan akibat λ terhadap c 39

Tabel 4.3. Penyimpangan akibat λ terhadap a 40

Tabel 4.1. Dimensi dari pena torak 54

Tabel 5.1. Gaya-gaya akibat tekanan *refrigerant* 77

Tabel 6.1. Properties oli RL 32 H 101

Tabel 7.1. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap efisiensi volumetris 107

Tabel 7.2. Pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap laju volume 108

Tabel 7.3. Pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap volume jenis 110

Tabel 7.4. Pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap laju massa 112

Tabel 7.5. Pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap efek *refrigerasi* 114

Tabel 7.6. Pengaruh temperatur *evaporasi* terhadap kapasitas *refrigerasi* 116

Tabel 7.7. Pengaruh temperatur *kondensasi* terhadap efisiensi volumetris 119

Tabel 7.8. Pengaruh temperatur *kondensasi* terhadap efek refrigerasi 120

Tabel 7.9. Pengaruh temperatur *kondensasi* terhadap efek refrigerasi 121

Tabel 7.10. Pengaruh temperatur *kondensasi* terhadap daya kompresor 123

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa
11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit**
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Saturated Refrigerant-134a-Temperature Table* 128

Lampiran 2. *Superheated Refrigerant-134a* 129

Lampiran 3. Material 131

Lampiran 4. Material 132

Lampiran 5. Momen Inersia 133

Lampiran 6. Dimensi Pegas 135

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa 11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	=	Luas (m^2, ft^2)
a	=	Percepatan (m/s^2, ft/s^2)
a	=	Jarak (mm)
a	=	Konstanta
b	=	Lebar (mm)
c	=	kecepatan (m/s, ft/s)
c	=	*Clearence*/ celah (mm)
C	=	Konstanta
c_o	=	Panas jenis minyak pelumas (kcal/kg°C)
COP	=	*Coefficient Of Performance*
D	=	Diameter (mm)
E	=	Modulus elastisitas (kg/cm^2, MPa)
F	=	Gaya (N)
f	=	Frekuensi (Hz)
f_{tet}	=	Tegangan tetmajer (kg/cm^2)
g	=	Percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)
h	=	Enthalpi (Btu/lbm)
H	=	Panas yang timbul dalam bantalan (kg.m/s)
I	=	Momen inersia (mm^4, cm^4)
i	=	Radius inersia (mm, cm)
j	=	Perbandingan kerugian daya
k	=	Koefisien
L,l	=	Panjang (m, ft)
M	=	Momen (N.mm, kg.mm)
$\dot{m}$	=	Laju aliran massa (lbm/h)
$1/m$	=	Rasio poisson
m_R	=	Massa bagian yang bergerak bolak-balik (kg)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa 11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

N = Kecepatan putar (rpm)

P = Tekanan (psia, kg/mm^2, kg/cm^2)

P = Jumlah kutup

P = Gaya akibat tekanan gas (N, kg)

Q, q = Panas (kW, Btu/h)

q_r = Laju refrigerasi (kW, TR)

r = Rasio kompresi

r = Lengan engkol

s_f = Entropi

Shp = Daya poros (W, hp)

S = Bilangan Sommerfeld

T = Torsi (N.mm)

T = Temperatur (^{o}F, ^{o}C)

t = Tebal (mm, cm, m)

V = Volume (mm^3, cm^3, m^3)

$\mathring{V}$ = Laju volume (m^3/min, ft^3/min)

v = Volume jenis (m^3/kg, ft^3/lbm)

v = Kecepatan aliran (m/sec, ft/s)

W = Kerja (W, Btu/h)

W_{ekw} = Daya input kompresor (W, Btu/h)

x = Kualitas uap

x = Jarak (mm)

y = Defleksi, jarak (mm,cm)

Z = Modulus Potongan (mm^3, cm^3, m^3)

Huruf Yunani

h = Efisiensi (%)

q = Rasio L/D

λ = Rasio engkol

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa 11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ε = Perbandingan *clearance volume* dengan volume langkah torak

ε = Eksentrisitas

γ = Densitas fluida (kg/m^3, g/ml)

ξ = Koefisien tahanan

α, β, φ = Sudut engkol (derajat, radian)

σ_{ba} = Tegangan lengkung yang diijinkan (kg/cm^2, kg/mm^2, N/mm^2)

σ_{ta} = Tegangan tarik yang diijinkan (kg/cm^2, kg/mm^2, N/mm^2)

σ_{ca} = Tegangan circumferensial yang diijinkan (kg/cm^2, kg/mm^2, N/mm^2)

σ_{com} = Tegangan kombinasi (kg/cm^2, kg/mm^2, N/mm^2)

α_T = Koefisien ekspansi thermal

Δ = Beda

Δh_{ev} = Efek refrigerasi (kJ/kg, Btu/lbm)

τ = Tegangan geser (kg/cm^2, kg/mm^2, N/mm^2)

μ = Angka keamanan pada persamaan tetmajer

μ = Koefisien gesek minyak pelumas dengan bantalan

π = 3,14

Subskrip

L = Rendah

H = Tinggi

n = Eksponen politropis

sat = Jenuh

f = Kondisi cair jenuh

g = Kondisi uap jenuh

fg = Kondisi campuran

k = Kondensasi

m = Rata-rata

max = Maksimum

thr = Throttling

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Perancangan Kompresor Untuk Melayani Sistem Fefrigerasi Kompresi Uap R-134a Dengan Laju Aliran Massa 11,087 LBM/H, Temperatur Evaporator 15 derajat Farenheit, Temperatur Kondensor 120 derajat Farenheit, Superheat 5 derajat Farenheit
Irawan Adi Nugroho, Fauzun, ST., MT.
Universitas Gadjah Mada, 2005 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ov = Keseluruhan

l = Longitudinal

c = Circumferensial

s = Silinder

r = Radial

B = Bahan

Y = Luluh

sh = Kepala silinder

b = Lengkung

sum = Total

b = Baut

p = Torak

ph = Kepala torak

sp = Spesifik

pp = Pena torak

ba = *Lengkung yang diijinkan*

pb = *Boss*

h = *Batang hubung*

i = Inlet

o = Outlet

se = Ujung kecil

cp = Ujung besar

w = Lengan engkol

r = Radial

cs = Poros engkol

Bt = Bedplate

Tk = Tangki