

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	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan dan Batasan Masalah	2
1.3. Metodologi Perancangan	3
1.4. Diagram Alir Kompresor	3

BAB II TINJAUAN MASALAH

2.1. Definisi Kompresor	5
2.2. Dasar Teori	5
2.3. Klasifikasi Kompresor	5
2.3.1. Kompresor Perpindahan Positif	5
2.3.1.1. Kompresor Torak	6
2.3.1.2. Kompresor Rotari	6
2.3.2. Kompresor Dinamik	7
2.3.2.1. Kompresor Arah Radial	7

2.3.2.2. Kompresor Arah Axial	7
2.3.2.3. Kompresor Arah Campuran	8
2.4. Penggunaan Kompresor	9
2.5. Siklus Kompresi Gas	9
2.6. Proses Kompresi Gas	10
2.6.1. Kompresi Isothermal	10
2.6.2. Kompresi Adiabatik	11
2.6.3. Kompresi Polytropik	11
2.7. Pemilihan Jenis Kompresor	12

BAB III DASAR-DASAR PERANCANGAN KOMPRESOR

3.1. Kondisi Fluida Kerja	14
3.2. Komposisi Fluida Kerja	14
3.3. Sifat Fluida Kerja	15
3.4. Perhitungan Komposisi Gas	15
3.5. Eksponen Adiabatik	17
3.6. Penentuan Tingkat	18
3.7. Faktor Kompresibilitas	23
3.8. Kapasitas Gas yang Dikompresi	25

BAB IV PERANCANGAN KOMPRESOR

4.1. Efisiensi Volumetris	28
4.2. Daya Adiabatik Kompresor	30
4.3. Daya Motor Penggerak	31
4.4. Dimensi Silinder	33

BAB V PERANCANGAN SILINDER

5.1. Silinder	37
5.2. Bahan Silinder	38
5.3. Panjang Langkah dan Diameter Silinder	39
5.4. Tebal Dinding Silinder	39

5.5. Panjang Silinder	43
5.6. Kepala Silinder	45
5.7. Kekuatan Silinder	46
5.7.1. Tegangan Tangensial Akibat Tekanan Gas dalam Silinder	46
5.7.2. Tegangan Akibat Pemasangan <i>Liner</i>	48
5.7.3. Tegangan pada Kepala Silinder	52
5.8. Baut Pengikat Kepala Silinder	53

BAB VI PERANCANGAN TORAK

6.1. Torak	56
6.1.1. Desain Torak	56
6.1.2. Bahan Torak	57
6.1.3. Dimensi Torak	57
6.1.3.1. Tebal Kepala Torak	57
6.1.4. Tinjauan Kekuatan Torak	58
6.1.4.1. Tekanan Spesifik Torak	58
6.1.4.2. Kekuatan Kepala Torak	59
6.1.4.3. Tegangan Akibat Perbedaan Temperatur	61
6.1.4.4. Pertambahan Diameter Akibat Pemuaian	61
6.2. Cincin Torak	62
6.2.1. Pemilihan Cincin Torak	62
6.2.2. Bahan Cincin Torak	62
6.2.3. Ukuran Cincin Torak	63
6.2.4. Tinjauan Kekuatan Cincin Torak	67
6.3. Piston Rod	69
6.3.1. Pemilihan Bahan dan Perencanaan Piston Rod	70
6.3.2. Perhitungan Dimensi dan Kekuatan Piston Rod	71
6.3.3. Perhitungan Defleksi Piston Rod	73

BAB VII PERANCANGAN CROSSHEAD

7.1. Crosshead	77
7.2. Pemilihan Bahan Cosshead	78
7.3. Perhitungan Dimensi dan Kekuatan Crosshead	79
7.3.1. Perhitungan <i>Crosshead Shoes</i> dan <i>Crosshead Pin</i>	79
7.3.2. Perhitungan <i>Crosshead</i>	81
7.3.3. Perhitungan <i>Crosshead Nut</i>	82

BAB VIII PERANCANGAN BATANG PENGHUBUNG

8.1. Batang Penghubung	84
8.1.1. Pemeriksaan terhadap Pelengkungan Batang Penghubung	85
8.1.2. Pemeriksaan Gaya Inersia Akibat Gerak Bolak-Balik	87
8.1.3. Pemeriksaan terhadap Gaya Inersia Transversal	88
8.2. Ujung Kecil Batang Penghubung	90
8.3. Ujung Besar Batang Penghubung	94
8.4. Baut Kap	97

BAB IX PERANCANGAN POROS ENKOL

9.1. Bahan Poros Engkol	101
9.2. Bentuk dan Ukuran Poros Engkol	101
9.3. Gaya yang Bekerja pada Poros Engkol	103
9.3.1. Gaya Akibat Tekanan Gas dalam Silinder	103
9.3.2. Gaya Inersia Akibat Massa yang Bergerak Bolak-Balik	109
9.3.3. Poros Engkol pada Titik Mati	114
9.3.4. Poros Engkol pada Posisi Momen Puntir Maksimum	118
9.4. Pengimbang (<i>Counterweight</i>)	125

BAB X PERANCANGAN KOMPONEN PENDUKUNG

10.1. Katup	127
10.1.1. Perhitungan Katup	128
10.2. Pemilihan Penggerak dan Perencanaan Transmisi	132

10.2.1. Pemilihan Penggerak Kompresor	132
10.2.2. Perencanaan Transmisi	133
10.2.2.1. Perencanaan Kopling Flens	134
10.3. Pendinginan	138
10.3.1. Pendinginan Silinder	138
10.3.1.1. Klasifikasi Pendinginan Silinder	138
10.3.1.2. Perhitungan Pendinginan Silinder	139
10.3.2. Pendinginan Antara	147
10.3.2.1. Perhitungan Pendinginan Antara	148
10.4. <i>Crankcase</i>	154
10.5. Pelumasan	155
10.5.1. Tujuan Pelumasan	155
10.5.2. Pemilihan Pelumas	155
10.5.2.1. Pelumasan Mekanisme Engkol	156
10.5.2.2. Pelumasan Silinder	157
10.5.3. Bantalan	158
10.5.3.1. Pemilihan Bahan Bantalan	159
10.5.3.2. Perencanaan Bantalan Utama	160
10.6. Penampung Gas (<i>Receiver</i>)	167
10.7. <i>Separator</i>	169

BAB XI PENUTUP

11.1. Karakteristik Kompresor	170
11.1.1. Hubungan Efisiensi Volumetris dengan Tekanan Keluar	170
11.1.2. Hubungan Efisiensi Adiabatis, Daya Adiabatis, Tekanan Keluar	172
11.2. Kesimpulan	175

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Peranan Kompresor 12-K-501 A/B/C pada Unit ARHDM	4
Gambar 2. 1. Diagram P-V dari Kompresor	10
Gambar 2. 2. Proses Kompresi Dinyatakan dalam Diagram P-V	12
Gambar 2. 3. Pemakaian Berbagai Jenis Kompresor Berdasarkan Tekanan Keluar dengan Kapasitas Aliran dari Fluida	13
Gambar 3. 1. Pengaruh Harga k terhadap Efisiensi Volumetris	18
Gambar 3. 2. Penurunan Efisiensi Volumetris terhadap Kenaikan Perbandingan Kompresi	19
Gambar 3. 3. Daerah yang Diarsir adalah Daya yang Dihemat karena Terjadi Pendinginan Gas dalam Intercooler	21
Gambar 3. 4. Cara Kerja Kompresor 12-K-501 A/B/C	22
Gambar 3. 5. Penyimpangan dari Hukum Gas Ideal	24
Gambar 4. 1. Pengaruh <i>Clearance</i> terhadap Kerja Kompresor	29
Gambar 4. 2. Efisiensi Motor terhadap Beban	32
Gambar 5. 1. Wet liner	38
Gambar 5. 2. Dry liner	38
Gambar 5. 3. Distribusi <i>Heat Loss</i>	53
Gambar 6. 1. Dimensi Cincin Torak	63
Gambar 6. 2. Cincin Pelumas	66
Gambar 6. 3. Perencanaan dan Ukuran Piston Rod	71
Gambar 7. 1. Perencanaan dan Ukuran dari Kepala Silang	79
Gambar 8. 1. Penampang Tangkai Batang Penggerak	85
Gambar 8. 2. Ujung Kecil Batang Penggerak	91
Gambar 8. 3. Gaya-Gaya pada Ujung Besar Batang Penggerak	95
Gambar 8. 4. Arah Tegangan pada Ulir	100
Gambar 9. 1. Poros Engkol Tipe <i>Double-Throw</i>	102
Gambar 9. 2. Pembukaan Katup Buang	104
Gambar 9. 3. Pembukaan Katup Isap	105

Gambar 9. 4. Diagram Indikator	106
Gambar 9. 5 . Gaya Akibat Tekanan Gas	107
Gambar 9. 6. Distribusi Beban saat Sudut $\alpha = 0^\circ$ pada Arah Horisontal	115
Gambar 9. 7. SFD dan BMD Poros Engkol pada Posisi Titik Mati Arah Horizontal	118
Gambar 9. 8. Distribusi Beban saat Sudut $\alpha = 300^\circ$ pada Arah Tangensial	118
Gambar 9. 9. SFD dan BMD Poros Engkol pada Posisi Momen Puntir Maksimum Arah Tangensial Engkol	121
Gambar 9.10. Distribusi Beban saat Sudut $\alpha = 120^\circ$ pada Arah Radial	121
Gambar 9.11. SFD dan BMD Poros Engkol pada Posisi Momen Puntir Maksimum Arah Radial Engkol	124
Gambar 10.1. Katup Cincin	128
Gambar 10.2. Katup Standar Hoebiger	130
Gambar 10.3. Dudukan Katup	130
Gambar 10.4. Kopling Flens	134
Gambar 10.5. Aliran Panas dari Gas ke Air	139
Gambar 10.6. Kurva Viskositas – Temperatur	157
Gambar 10.7. Bantalan Luncur	160
Gambar 10.8. Kurva j terhadap s	164
Gambar 10.9. <i>Stuffing Box</i>	166
Gambar 10.10. Penampung Udara	167
Gambar 10.11. Katup Pengaman	168
Gambar 10.12. <i>Separator</i>	169
Gambar 11.1. Hubungan Efisiensi Volumetris dengan Tekanan Keluar	172
Gambar 11.2. Hubungan Efisiensi Adiabatik dan Tekanan Keluar	174
Gambar 11.3. Hubungan Daya Adiabatik dan Tekanan Keluar	174

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Komposisi Fluida Kerja (Gas) Kompresor	14
Tabel 3. 2. Perhitungan Komposisi Gas	16
Tabel 3. 3. Tekanan Gas Tiap Tingkat	22
Tabel 3. 4. Harga Faktor Kompresibilitas (Z)	25
Tabel 6. 1. Dimensi Piston	57
Tabel 9. 1. Hasil Perhitungan Gaya Akibat Tekanan Gas	108
Tabel 9. 2. Perhitungan Gaya Tangensial dan Gaya Radial Akibat Gaya Inersia	110
Tabel 9. 3. Resultan Gaya Akibat Tekanan Gas dan Gaya Inersia	111
Tabel 10.1. Tekanan Maksimum yang Diijinkan dari Bantalan Luncur	161
Tabel 10.2. Tebal Lapisan Minyak Minimum yang Diijinkan	162
Tabel 10.3. Jumlah Aliran Minyak yang Diperlukan	165
Tabel 11.1. Hubungan Efisiensi Volumetris dan Tekanan Keluar	171
Tabel 11.2. Hubungan Efisiensi Adiabatik, Daya Adiabatik dan Tekanan Keluar	173

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Komposisi Gas yang Dikompresi	183
Lampiran 2.	Kondisi Operasi Kompresor (EOR)	184
Lampiran 3.	Data Silinder dan Material Kompresor	185
Lampiran 4.	Properties Gas	186
Lampiran 5.	Sifat Material Logam	187
Lampiran 6.	Tabel Bahan Baut Pengikat Kepala Silinder	188
Lampiran 7.	Tabel untuk Bahan Cincin Torak	189
Lampiran 8	Tabel untuk Bahan Poros dan Pasak	190
Lampiran 9.	Standar Ukuran Ulir	191
Lampiran 10.	Tabel Kekuatan Baut / Sekrup dan Mur	192
Lampiran 11.	Tabel Ukuran Standar Sekrup	192
Lampiran 12	Ukuran Standar Mur	193
Lampiran 13.	Tabel Tabel Jenis Minyak Pelumas Kompresor	193
Lampiran 14.	Konstanta fisik dan bahan	194
Lampiran 15.	Propertis fisik metal dan nonmetal	194
Lampiran 16.	Cincin Torak Berdasarkan Standard Czechoslovak	195
Lampiran 17	Standar Baja	196
Lampiran 18.	Konversi Satuan	197
Lampiran 19.	Data Valve Hoorbiger	198
Lampiran 20.	Standar Ukuran Pipa	199
Lampiran 21.	Standar Ukuran Pasak	200
Lampiran 22.	Jumlah Baut Kopling Flens	200
Lampiran 23.	Sifat Fisis Air	201
Lampiran 24	Sifat Fisis Hidrogen	202
Lampiran 25.	Konduktifitas Termal Gas Hidrogen	203
Lampiran 26.	Viskositas Dinamik Gas Hidrogen	204

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	Penambahan tebal yang diijinkan (mm)
	=	Garis bantu (m)
	=	Luas aliran gas masuk (mm^2)
	=	Tebal katup (mm)
a	=	Celah radial antara diameter dalam alur dengan cincing torak (mm)
A_p	=	Luas piston (m^2)
A_{sh}	=	Luas permukaan <i>shoe</i> (m^2)
B	=	Tebal bantalan (mm)
b	=	Lebar lengan katup (mm)
b_{ac}	=	Kedalaman radial dari alur untuk cincin torak (mm)
b_{rc}	=	Tebal cincin kompresi (mm)
b_1	=	Lebar dari luasan keliling atas torak (mm)
b_2	=	Lebar luasan antar cincin pada torak (mm)
b_{rc}	=	Tebal cincin kompresi torak (mm)
c	=	<i>Clearence</i> (mm)
	=	Celah cincin piston terpasang (mm)
C	=	Jarak sumbu normal ke titik yang ditinjau (m)
	=	Angka nominal dinamis spesifik
C_c	=	Celah cincin torak (mm)
C_m	=	Kecepatan piston rata-rata (m/s)
D, D_0	=	Diameter dalam dan luar silinder (mm)
d_b	=	Diameter baut (mm)
d_c	=	Diameter minor baut (mm)
d_{ef}	=	Diameter efektif ulir (mm)
D_{ic}	=	Diameter silinder (mm)
D_{ir}	=	Diameter dalam cincin torak (mm)
D_p	=	Diameter torak (mm)
D_{po}	=	Diameter poros (mm)

E	=	Modulus elastisitas (kg/cm^2)
f_c	=	Faktor koreksi
f_e	=	Gaya tangensial efektif (kg)
f_h	=	Faktor kelelahan
f_n	=	Faktor kecepatan
F_a	=	Gaya aksial (kg)
F_d	=	Tegangan maksimal pada kepala silinder dan baut (kg)
F_n	=	Gaya normal (kg)
$F_{1,2,3}$	=	Gaya pada tingkat 1,2, dan 3 (kg)
f_{rr}	=	Tegangan radial (kg/cm^2)
F_t	=	Gaya total pada piston (kg)
F_r	=	Resultan gaya radial (kg)
F_z	=	Gaya tekan maksimal gas pada torak (kg)
g	=	Percepatan gravitasi (cm/s^2)
h	=	Enthalpi (kJ/kg)
I	=	Momen inersia (mm^4)
i	=	Jumlah silinder kompresor
	=	Perbandingan reduksi putaran
J	=	Polar momen inertia untuk poros pejal (mm^4)
k	=	Konduktifitas termal (W/m.K)
k_1, k_2	=	Koefisien tegangan luar dan dalam silinder
L	=	Panjang langkah torak (mm)
	=	Panjang poros (m)
	=	Jarak pembebanan (mm)
L_c	=	Panjang <i>clearance</i> (mm)
L_h	=	Umur bantalan (jam)
L_{si}	=	Panjang silinder (mm)
l	=	Panjang pasak (mm)
$\dot{m}$	=	Laju aliran massa gas (kg/s)
M_b	=	Momen lengkung (kg.mm)
M_t	=	Momen lengkung total (kg.m)

M_{tp}	=	Momen lengkung total poros (kg.m)
N	=	Putaran kompresor (rpm)
N_{max}	=	Gaya maksimum pada torak (kg)
N_s	=	Putaran kompresor per siklus (rps)
n_1	=	Putaran motor penggerak (rpm)
n_b	=	Jumlah baut
P_d	=	Tekanan keluar kompresor (MPa)
P_m	=	Daya mesin penggerak (kW)
P_s	=	Tekanan masuk kompresor (ata)
p	=	Tekanan maksimum gas dalam silinder (atg)
p_r	=	Tekanan cincin terhadap dinding silinder (kg/cm ²)
P_t	=	Tekanan pada torak (MPa)
P_0	=	Kapasitas daya (kW)
$\dot{Q}_0$	=	Perpindahan Kalor (kJ/s)
q_N	=	Tekanan spesifik torak (kg/cm ²)
R	=	Jari-jari silinder (m)
$R_{A,B,C,D,E,F}$	=	Gaya reaksi pada titik A, B, C, D, E dan F (kg)
r	=	Total jarak dari poros ke silinder (m)
	=	jarak dari garis netral ke titik yang ditinjau (mm)
r_i	=	Jari-jari silinder dalam (mm)
r_o	=	Jari-jari silinder luar (mm)
r_p	=	Rasio kompresi
r_{po}	=	jari-jari poros (m)
r_{sh}	=	jari-jari <i>shoe</i> (mm)
Sf	=	Faktor keamanan bahan
SHP	=	Daya poros (HP)
T	=	Momen puntir (kg.mm)
T_d	=	Temperatur mutlak gas keluar kompresor (K)
T_s	=	Temperatur mutlak gas masuk kompresor (K)
T_1	=	Temperatur luar silinder (°C)
T_2	=	Temperatur dalam silinder (°C)

t_c	=	Tebal dinding silinder (mm)
t_{ch}	=	Tebal kepala silinder (mm)
t_H	=	Tebal kepala torak (mm)
t_{rc}	=	Lebar cincin kompresi (mm)
T_o	=	Temperatur udara luar ($^{\circ}\text{C}$)
T_r	=	Temperatur desain ruangan ($^{\circ}\text{C}$)
$\dot{V}_{act}$	=	Laju aliran gas aktual (m^3/s)
$\dot{V}_{th}$	=	Laju aliran gas teoritis (m^3/s)
V_c	=	Volume sisa (m^3)
V_d	=	Volume kondisi buang (m^3/s)
V_s	=	Volume kondisi isap (m^3/s)
	=	Kecepatan gerak katup (m/s)
V_p	=	Volume perpindahan torak (m^3)
v_1	=	Kecepatan aliran gas masuk (m/s)
W	=	Modulus penampang (mm^3)
w	=	Lebar pasak (mm)
y	=	Defleksi (mm)
	=	Jarak antara piston (mm)
x	=	Selisih antara r dengan y_1 (m)
x,y	=	Konstanta untuk gaya radial dan aksial
Z	=	Modulus penampang (mm^3)
ϑ	=	<i>Satisfactory ratio</i>
α	=	Koefisien muai panjang ($/^{\circ}\text{C}$)
ε	=	Rasio antara <i>clearance volume</i> dengan volume langkah torak (%)
σ_B	=	Kekuatan tarik bahan (kg/mm^2)
Δd	=	Pertambahan diameter akibat pemuaian (mm)
τ_{maks}	=	Tegangan geser yang diijinkan (kg/mm^2)
τ_{maks}	=	Tegangan geser maksimum (kg/m^2)
μ	=	Angka <i>poisson</i>
σ_b	=	Tegangan lengkung (kg/mm^2)

σ_{ba}	=	Tegangan lengkung akibat gaya aksial (kg/mm^2)
σ_c	=	Tegangan kompresi (kg/mm^2)
σ_u	=	Tegangan tarik (kg/mm^2)
σ_{tr1}	=	Tegangan akibat perbedaan suhu (kg/cm^2)
σ_{ti}	=	Tegangan tarik diijinkan (kg/mm^2)
σ_{tr}	=	Tegangan tangensial (MPa)
σ_{tr1}	=	Tegangan bagian dalam silinder (MPa)
σ_{tr2}	=	Tegangan bagian luar silinder (MPa)
σ_{rr}	=	Tegangan radial (MPa)
η_t	=	Efisiensi transmisi
η_m	=	Efisiensi mekanis
η_{oad}	=	Efisiensi adiabatik menyeluruh
η_v	=	Efisiensi volumetrik
η_{vo}	=	Efisiensi volumetrik <i>overall</i>
θ	=	Sudut putaran engkol