UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | 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 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 Masalah 2
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Perancangan 3
1.5 Manfaat Perancangan 3
1.6 Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN MASALAH
2.1 Definisi Kompresor 5
2.2 Klasifikasi Kompresor 5
2.2.1 Kompresor perpindahan positif 5
2.2.1.1 Kompresor torak 5
2.2.1.2 Kompresor rotari 6
2.2.2 Kompresor dinamik 6

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.2.1 Kompresor arah radial 7
2.2.2.2 Kompresor arah axial 7
2.2.2.3 Kompresor arah campuran 7
2.3 Pemilihan Jenis Kompresor 7
2.4 Dasar Teori Kompresor Sentrifugal 8
2.4.1 Komponen dasar kompresor sentrifugal 8
2.4.1.1 Casing 9
2.4.1.2 Impeler 9
2.4.1.3 Poros 9
2.4.1.4 Diafragma 9
2.4.1.5 Bantalan 9
2.4.1.6 Piston penyeimbang 10
2.4.1.7 *Seal* 10
2.4.2 Prinsip-prinsip termodinamika kompresor sentrifugal 10
2.5 Tahapan Perancangan Kompresor Sentrifugal 12
2.5.1 Analisa termodinamika 12
2.5.2 Perancangan impeler 13
2.5.3 Perancangan poros dan pasak 14
2.5.4 Perancangan bantalan 15
2.5.5 Perancangan seal dan piston penyeimbang 16
2.5.6 Perancangan komponen pendukung 16

BAB III ANALISIS TERMODINAMIKA KOMPRESOR SENTRIFUGAL

3.1 Asumsi Perhitungan 18
3.2 Analisis Fluida Kerja 18
3.2.1 Rasio panas spesifik 19
3.2.2 Konstanta gas spesifik 19
3.2.3 Faktor kompresibilitas 20
3.3 Perhitungan Politropis Kompresor Sentrifugal 22
3.3.1 Eksponen politropis 22
3.3.2 Perbandingan kompresi total 22

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3.3 Head politropis 23
3.3.4 Head politropis maksimum tiap tingkat 23
3.3.5 Jumlah tingkat kompresor dan head politropis tiap tingkat 24

BAB IV PERANCANGAN IMPELER

4.1 Perhitungan Impeler Tingkat I 25
4.1.1 Head 25
4.1.2 Perbandingan kompresi sebelum dan pada mata impeler 26
4.1.3 Tekanan dan Temperatur pada mata impeler 27
4.1.4 Laju aliran gas pada mata impeler 28
4.1.5 Dimensi Impeler 28
4.1.6 Pengecekan kebocoran labirin 35
4.2 Perhitungan Impeler Tingkat II 37
4.2.1 Head 37
4.2.2 Perbandingan kompresi sebelum dan pada mata impeler 37
4.2.3 Tekanan dan Temperatur pada mata impeler 38
4.2.4 Laju aliran gas pada mata impeler 38
4.2.5 Dimensi Impeler 38
4.2.6 Pengecekan kebocoran labirin 41
4.3 Perhitungan Impeler Tingkat III 42
4.3.1 Head 42
4.3.2 Perbandingan kompresi sebelum dan pada mata impeler 43
4.3.3 Tekanan dan Temperatur pada mata impeler 43
4.3.4 Laju aliran gas pada mata impeler 43
4.3.5 Dimensi Impeler 43
4.3.6 Pengecekan kebocoran labirin 47
4.4 Perhitungan Impeler Tingkat IV 47
4.4.1 Head 47
4.4.2 Perbandingan kompresi sebelum dan pada mata impeler 48
4.4.3 Tekanan dan Temperatur pada mata impeler 48
4.4.4 Laju aliran gas pada mata impeler 49

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.5 Dimensi Impeler 49
4.4.6 Pengecekan kebocoran labirin 52
4.5 Perhitungan Impeler Tingkat V 53
4.5.1 Head 53
4.5.2 Perbandingan kompresi sebelum dan pada mata impeler 53
4.5.3 Tekanan dan Temperatur pada mata impeler 53
4.5.4 Laju aliran gas pada mata impeler 54
4.5.5 Dimensi Impeler 54
4.5.6 Pengecekan kebocoran labirin 57
4.6 Dimensi dan Bahan Impeler 58

BAB V PERANCANGAN POROS DAN PASAK

5.1 Perhitungan Beban Poros 59
5.2 Kekuatan Poros 60
5.2.1 Diameter poros 60
5.2.2 Kekuatan poros karena alur pasak 62
5.3 Putaran Kritis Poros 64
5.4 Perancangan Pasak 67

BAB VI PERANCANGAN BANTALAN

6.1 Bantalan Radial 70
6.2 Pelumasan Bantalan Radial 72
6.3 Bantalan Aksial 74
6.4 Pelumasan Bantalan Aksial 75

BAB VII PERANCANGAN SEAL DAN PISTON PENYEIMBANG

7.1 Seal Antar Tingkat Dan Seal Piston penyeimbang 76
7.2 Seal Poros 78
7.3 Piston Penyeimbang 79

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VIII KOMPONEN PENDUKUNG

8.1 Casing 83

8.2 Perancangan Kopling 84

8.3 Penggerak 86

BAB IX KARAKTERISTIK KOMPRESOR

9.1 *Slope* 88

9.2 *Stone Wall* 90

9.3 *Surge* 90

9.4 Grafik Karakteristik Kompresor 92

BAB X PENUTUP

10.1Kesimpulan 96

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram alir proses pendinginan sistem MCR	2
Gambar 2.1.	Pemakaian berbagai jenis kompresor berdasarkan tekanan pemampatan dan kapasitas isap	8
Gambar 2.2.	Jenis-jenis impeler berdasarkan arah lengkungan sudu	14
Gambar 2.3.	Impeler berdasarkan konstruksinya	14
Gambar 2.4.	Poros dan pasak	15
Gambar 2.5.	*Straight cylindrical bearing*	16
Gambar 4.1.	Aliran gas pada kompresor	25
Gambar 4.2.	Dimensi impeler	28
Gambar 4.3.	Vektor kecepatan pada impeler	30
Gambar 5.1.	Dimensi poros	60
Gambar 5.2.	Alur pasak poros	62
Gambar 5.3.	Pembebanan dalam poros	64
Gambar 5.4.	Pembebanan	65
Gambar 5.5.	Penampang pasak	68
Gambar 6.1.	*Five-pad tilting pad bearing*	70
Gambar 6.2.	Bantalan Aksial	74
Gambar 7.1.	Seal antar tingkat dan seal piston penyeimbang	76
Gambar 7.2.	Labirin seal	77
Gambar 7.3.	Seal ring karbon kering	78
Gambar 7.4.	Piston penyeimbang	79
Gambar 7.5.	Gaya aksial akibat tekanan gas	80
Gambar 7.6.	Piston penyeimbang	82
Gambar 8.1.	Casing tipe *vertical split*	83
Gambar 8.2.	Casing tipe *horizontal split*	84
Gambar 8.3.	Kopling diafragma	85
Gambar 9.1.	Kecepatan pada sisi keluar impeler	88
Gambar 9.2.	Diagram vektor kecepatan pada impeler	89

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 9.3. Kurva performa kompresor sentrifugal 89
Gambar 9.4. *Stone wall* 90
Gambar 9.5. Aliran melewati diffuser 91
Gambar 9.6. Sistem by pas dengan katup pengaman 91
Gambar 9.7. Grafik hubungan putaran dengan kapasitas 93
Gambar 9.8. Grafik hubungan putaran dengan head 93
Gambar 9.9. Grafik hubungan putaran dengan daya 94
Gambar 9.10. Grafik hubungan kapasitas dengan head 94
Gambar 9.11. Grafik hubungan kapasitas dengan daya 95
Gambar 9.12. Grafik hubungan head dengan daya 95

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data operasi kompresor MCR 13
Tabel 3.1. Properti fluida kerja 19
Tabel 4.1. Dimensi Impeler 58
Tabel 5.1. Berat komponen 59
Tabel 5.2. Perhitungan diameter ekivalen 65
Tabel 5.3. Tabel perhitungan putaran kritis 66
Tabel 7.1. Perhitungan gaya aksial resultan 81
Tabel 9.1. Hubungan antara putaran, kapasitas, head dan daya 92

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Tabel Penentuan Efisiensi Politropis Kompresor	102
Lampiran 2.	Grafik Kompresibilitas	103
Lampiran 3.	Grafik Besarnya α	104
Lampiran 4.	Grafik Besarnya Faktor Bocoran	105
Lampiran 5.	Grafik Besarnya Faktor Koreksi	106
Lampiran 6.	Grafik Faktor Konsentrasi Tegangan	107
Lampiran 7.	Ukuran Pasak	108
Lampiran 8.	Ukuran Bantalan Radial Tipe LEG	109
Lampiran 9.	Nilai Desain Bantalan Radial	110
Lampiran 10.	Ukuran Bantalan Aksial Tipe S	111
Lampiran 11.	Grafik Karakteristik Bantalan Aksial Tipe LEG-S	112
Lampiran 12.	Grafik Pemilihan Bahan Casing Tipe *Horizontal Split*	113
Lampiran 13.	*Horizontal-split Casing*	114
Lampiran 14.	Kopling Diafragma	115
Lampiran 15.	Ukuran Baut Standar ISO	116
Lampiran 16.	Tabel untuk Bahan Poros dan Pasak	117
Lampiran 17.	Bahan untuk Bantalan Radial	118
Lampiran 18.	Tabel untuk Bahan Piston Penyeimbang	119

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a = Jarak beban dengan tumpuan pertama (m)

A_1 = Luas sisi masuk (in^2)

A_l = Luas area yang mengalami kebocoran (in^2)

A_l = Luas area yang mengalami kebocoran (in^2)

A_2 = Luas sisi keluar impeler (in^2)

b = Jarak beban dengan tumpuan kedua (m)

= Lebar pasak (m)

b_1 = Lebar sisi masuk impeler (in)

b_2 = Lebar sisi keluar impeler (in)

c = *Diametral clearance* (m)

C = Panas jenis minyak pelumas ($kkal/kg^0C$)

C_b = Faktor koreksi (diambil 2)

D = Diameter minimum bantalan (m)

D_1 = Diameter mata impeler (in)

D_2 = Diameter luar impeler (in)

D_e = Diameter ekivalen (m)

D_h = Diameter hub (in)

D_i = Diameter poros (m)

D_{pb} = Diameter piston penyeimbang (m)

D_{rb} = Diameter ruang bebas (in)

D_s = Diameter poros (m)

E = Elastisitas (kg/m^2)

F = Gaya tangensial pada permukaan poros (kg)

= Gaya tangensial (kg)

g = Gravitasi (ft/s^2)

= Gravitasi (m/s^2)

G = Beban (kg)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

H = Head / tinggi tekan gas (ft)

H_p = Head politropis (kJ/kg)

H_{pst} = Head politropis tiap tingkat (lb-ft/lb)

H_{stmax} = Head stage maksimum (kJ/kg)

I = Momen inersia (m^4)

J = Ekivalen panas (kgm/kcal)

k = Rasio panas spesifik

k = Faktor koreksi bocoran

K’ = Koefisien tekanan

K_m = Koefisien momen puntir

K_t = Faktor koreksi tumbukan

K_t = Faktor koreksi tumbukan

l = Jarak (m)

= Panjang minimum pasak (m)

L = Panjang bantalan (m)

= Panjang poros (m)

L_i = Panjang poros (m)

L_m = Rugi-rugi mekanis

$\dot{m}$ = Laju massa (lb/s)

M = Momen (kg.m)

Mc_p = Molal c_p (kJ/kmol.K)

M_w = Berat molekul (kg/kmol)

n = Eksponen politropis

= Jumlah baut

N = Putaran (rpm)

N_{st} = Jumlah tingkat

p = Tekanan pada bantalan (MN/m^2)

P = Tekanan (MPa)

P_1 = Tekanan gas masuk impeler (kg/m^2)

= Tekanan isap (kg/m^2)

P_2 = Tekanan gas keluar impeler (kg/m^2)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

= Tekanan keluar (kg/m^2)

P_{cr} = Tekanan kritis gas (MPa)

P_d = Tekanan Keluar (MPa)

P_e = Tekanan pada mata impeler (Psia)

P_i = Tekanan masuk ke impeler (Psia)

P_l = Tekanan setelah labirin (Psia)

P_o = Tekanan keluar impeler (Psia)

P_r = *Pressure reduce*

P_s = Tekanan Masuk (MPa)

Q_e = Laju aliran gas pada mata impeler (cfs)

Q_l = Kapasitas minyak pelumas (m^3/menit)

Q_o = Laju gas keluar impeler (cfs)

r_p = Perbandingan kompresi total

R = Konstanta gas spesifik (kJ/kmol.K)

= Jarak baut (m)

R_1 = Gaya aksial akibat tekanan (kg)

R_2 = Gaya aksial karena momentum gas (kg)

R_a = Gaya aksial resultan (kg)

R_u = Konstanta gas universal (kJ/kmol.K)

sf_1 = Faktor keamanan untuk kelelahan puntir

sf_2 = Faktor keamanan untuk alur pasak

t = Tebal sudu (in)

T = Temperatur (K)

= Torsi (kg.m)

T_b = Temperatur sebelum masuk impeler (R)

T_{cr} = Temperature kritis gas (K)

T_e = Temperatur pada mata impeler (R)

T_o = Temperatur keluar impeler I

T_r = *Temperature reduce*

T_s = Temperatur masuk (K)

u_1 = Kecepatan ujung sudu sisi masuk (ft/s)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

u_2 = Kecepatan ujung sudu sisi keluar (ft/s)

v = Kecepatan keliling poros (m/s)

V_0 = Kecepatan pada mata impeler (ft/s)

V_1 = Kecepatan masuk impeler (ft/s)

$\overline{V_l}$ = Volume spesifik sebelum labirin (ft^3/lb)

Vr_2 = Kecepatan radial sisi keluar (ft/s)

w_i = Berat impeler (kg)

w_p = Berat piston penyeimbang (kg)

w_s = Berat poros (kg)

W = Beban yang ditumpu (kg)

W_c = Putaran kritis (rad/s)

W_L = Kebocoran (lb/s)

W_p = Daya (kW)

y = Defleksi (m)

z = Jumlah sudu

Z = Viskositas pelumas (kg/m-s)

Z_{avg} = Faktor kompresibilitas rata-rata

α = Faktor kontraksi

= Faktor konsentrasi tegangan

β_1 = Sudut masuk impeler

β_2 = Sudut keluar impeler

ε_1 = Faktor ketebalan sudu

ε_2 = Faktor ketebalan sudu

ϕ = Faktor perbandingan tekanan labirin

γ = Faktor koreksi

δ = Ruang bebas radial (in)

η_p = Efisiensi politropis

$\in p$ = Perbandingan kompresi

τ = Tegangan geser yang terjadi (kg/m^2)

τ_a = Tegangan geser diijinkan (kg/m^2)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN KOMPRESOR UNTUK SISTEM REFRIGERASI MULTIKOMPONEN PADA PROSES PENCAIRAN GAS ALAM
Tony Suprapto., Dr. Ir. Suhanan DEA.
Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

σ_t = Tegangan tarik bahan (kg/m^2)

σ_a = Tekanan maksimum yang diperbolehkan (kg/m^2)

μ = Koefisien gesekan bantalan

γ = Berat jenis minyak pelumas (kg/m^3)

= Berat jenis gas (kg/m^3)

ΔT = Kenaikan temperatur (^0C)

Σy = Defleksi dari masing-masing beban.