UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

MOTTO

LEMBAR PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR i

HALAMAN SOAL iii

INTISARI iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR SIMBOL xiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Mengenal pompa dan penggunaannya 1

1.2. Jenis-jenis pompa 2

1.2.1. Pompa kerja positif (positive displacement pump) 2

1.2.2. Pompa kerja dinamis 6

BAB II TINJAUAN MASALAH 12

2.1. Latar belakang masalah 12

2.2. Kondisi air isian 16

2.3. Data-data perencanaan 18

2.3.1. Spesifikasi kerja mesin *reverse osmosis* 18

Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3.2. Instalasi pemipaan 18

2.4. Kapasitas total dan head total pompa 20

2.4.1. Kapasitas total pompa 20

2.4.2. Head total pompa 21

2.4.2.1. Head statis 21

2.4.2.2. Head dinamis 23

2.5. Pemilihan jenis pompa 28

2.6. Menentukan jumlah tingkat 29

2.7. Pemilihan penggerak mula pompa 32

2.8. Daya input pompa 36

BAB III PERANCANGAN IMPELER

3.1. Kecepatan Spesifik dan Type Impeler 39

3.1.1. Kecepatan Spesifik 39

3.1.1.1. Kecepatan Spesifik Kinematik 40

3.1.1.2. Kecepatan Spesifik Dinamik 41

3.1.1.3. Bilangan Bentuk 41

3.2. Pemilihan Tipe Impeler 42

3.3. Dimensi Impeler 46

3.3.1. Diameter Poros 46

3.3.2. Diameter Sisi Masuk 50

3.3.3. Sudut Sisi Masuk (β_1) 55

3.3.4. Lebar Sisi Masuk Impeler 57

3.3.5. Diameter Sisi Keluar Impeler 59

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3.6. Lebar Sisi Keluar Impeler 62

3.3.7. Koreksi Terhadap 1 + C_p 64

3.3.8. Koreksi Terhadap Jumlah Sudu 65

3.3.9. Lebar Impeler Untuk Tiap Titik 66

3.4. Segitiga Kecepatan 67

3.4.1. Segitiga Kecepatan Sisi Masuk Impeler 67

3.4.2. Segitiga Kecepatan Sisi Keluar Impeler 68

3.5. Perancangan Sudu Impeler 72

3.6. Pemeriksaan Ulang Kekuatan Impeler 75

3.7. Rangkuman Hasil Perhitungan Impeler 78

BAB IV SALURAN MASUK DAN SALURAN KELUAR 84

4.1. Saluran Masuk 84

4.2. Saluran Keluar 86

4.2.1. Difuser 86

4.2.1.1. Sudu Cincin Difuser 87

4.2.2. Sudu Pengarah Balik 94

4.3. Perhitungan Kekuatan Casing 100

BAB V PERANCANGAN POROS 101

5.1. Gaya Aksial dan Gaya Radial 101

5.1.1. Gaya Aksial 101

5.1.1.1. Perhitungan Gaya Aksial 105

5.1.1.2. Perhitungan Dimensi Celah dan Cakram 107

5.1.2. Gaya Radial 112

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.2.1. Perhitungan Berat Impeler 113

5.1.2.2. Perhitungan Berat Cakram 119

5.1.2.3. Perhitungan Berat Kopling 120

5.2. Konstruksi Poros 121

5.3. Pemeriksaan Kekuatan poros 124

5.3.1. Pemeriksaan Terhadap Tegangan Geser 132

5.3.2. Pemeriksaan Terhadap Defleksi 133

5.3.2.1. Pemeriksaan terhadap Defleksi Puntiran 133

5.3.2.2. Defleksi Lengkung Poros 135

5.3.3. Kecepatan Kritis Poros 139

5.3.4. Pemeriksaan Terhadap Pengaruh Konsentrasi Tegangan 141

5.3.4.1. Pemeriksaan Konsentrasi Tegangan pada
Poros Tempat Impeler 141

5.3.4.2. Pemeriksaan Konsentrasi Tegangan pada
Poros Tempat Kopling 145

BAB VI BANTALAN DAN KOMPONEN PENDUKUNG 148

6.1. Bantalan 148

6.1.1. Bantalan Kanan 150

6.1.2. Bantalan Kiri 152

6.1.3. Pelumasan Bantalan 153

6.2. Stuffing Box 154

6.3. Kopling 155

6.3.1. Pemeriksaan Kopling 158

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6.3.2. Pemeriksaan terhadap Baut Pengikat Kopling 160

6.4. Pasak 161

6.4.1. Pasak pada Impeler dan Cakram Pengimbang 162

6.4.2. Pasak pada Kopling 165

BAB VII EFISIENSI DAN KAVITASI 169

7.1. Efisiensi 169

7.1.1. Efisiensi Volumetris 169

7.1.2. Efisiensi Hidrolis 170

7.1.3. Efisiensi Mekanis 171

7.2. Kavitasi 173

7.2.1. NPSH (*Net Positive Suction Head*) 175

7.2.1.1. NPSH yang Dibutuhkan 176

7.2.1.2. NPSH yang Tersedia 178

7.2.2. Pencegahan Kavitasi 179

BAB VIII KARAKTERISTIK POMPA 180

8.1. Hubungan Head dengan Kapasitas Pompa 180

8.1.1. Head Euller dengan Kapasitas Pompa 180

8.1.2. Head Teoritis dengan Kapasitas 181

8.1.3. Head Aktual dengan Kapasitas 182

8.2. Hubungan Head Sistem dengan Kapasitas 186

8.3. Hubungan Efisiensi dengan Kapasitas Pompa 190

BAB IX PENUTUP 195

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil perhitungan efisiensi pompa dalam berbagai tingkat	31
Tabel 2.2	Kecepatan putar sinkron motor listrik induksi	35
Tabel 2.3	Besar daya cadangan yang harus diberikan berdasar daya yang dibutuhkan	37
Tabel 3.1	Pemilihan jenis impeler berdasarkan kecepatan spesifik	44
Tabel 3.2	Harga β dan θ dalam berbagai titik	79
Tabel 3.3	Lebar laluan (b) untuk setiap titik	81
Tabel 5.1	Perhitungan harga k_t	134
Tabel 5.2	Perhitungan defleksi lengkungan	137
Tabel 5.3	Hasil perhitungan kecepatan kritis	140
Tabel 6.1	Umur perencanaan bantalan yang disarankan	150
Tabel 8.1	Hasil perhitungan head Euller, head teoritis,dan head aktual pada berbagai kapasitas pompa	186
Tabel 8.2	Perhitungan head sistem dalam berbagai kapasitas	189
Tabel 8.3	Perhitungan efisiensi pompa dalam berbagai kapasitas	193

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram alir pemurnian air 13

Gambar 2.2 Instalasi pemipaan mesin *reverse osmosis* 19

Gambar 2.3 Grafik daerah operasi berbagai jenis pompa 29

Gambar 2.4 Grafik efisiensi pompa sebagai fungsi kapasitas dan *spesific speed* 31

Gambar 3.1 Grafik untuk menentukan efisiensi volumetris pompa 51

Gambar 3.2 Grafik koefisien kecepatan K_{cm1} dan K_{cm2} terhadap kecepatan spesifik 52

Gambar 3.3 Profil impeler pompa sentrifugal 55

Gambar 3.4 Bentuk sudu sisi inlet 58

Gambar 3.5 Grafik untuk menentukan sudut sudu sisi keluar impeler 60

Gambar 3.6 Grafik untuk menentukan efisiensi hidrolis pompa 61

Gambar 3.7 Sudu sisi outlet 63

Gambar 3.8 Segitiga kecepatan sisi inlet 67

Gambar 3.9 Segitiga kecepatan sisi outlet 68

Gambar 3.10 Bentuk laluan impeler. Sudut inlet β_1, sudut outlet β_2, serta Jumlah blade sama untuk semua impeler 72

Gambar 3.11 Metode *point by point* untuk menggambar sudu 73

Gambar 3.12 Desain sudu impeler 80

Gambar 3.13 Sudu hasil perancangan 82

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 3.14 Grafik variasi Cm dan w terhadap jari-jari 83

Gambar 4.1 Saluran masuk lurus 84

Gambar 4.2 Saluran masuk melengkung 85

Gambar 4.3 Saluran masuk tipe konsentris 85

Gambar 4.4 Saluran masuk volut dengan hisapan ganda 86

Gambar 4.5 Grafik hubungan $K_{cv} = f(n_s)$ dan $\frac{d_3 - d_2}{d_2} = f(n_s)$ 91

Gambar 4.6 Pengaruh jumlah sudu yang terbatas pada distribusi kecepatan pada outlet difuser ring 94

Gambar 5.1 Gaya geser aksial 101

Gambar 5.2 Cakram penyeimbang gaya aksial 104

Gambar 5.3 Penampang impeler 118

Gambar 5.4 Cakram pengimbang 119

Gambar 5.5 Penampang flens kopling luwes 120

Gambar 5.6 Konstruksi poros 122

Gambar 5.7 Diagram gaya-gaya yang bekerja pada poros 125

Gambar 5.8 Titik-titik pada poros yang akan dihitung defleksinya 136

Gambar 5.9 Grafik faktor konsentrasi tegangan β untuk poros bertingkat 142

Gambar 5.10 Grafik faktor konsentrasi tegangan α untuk poros bulat beralur pasak 143

Gambar 6.1 Bantalan bola 148

Gambar 6.2 Stuffing box dengan *lantern-ring* 154

Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 6.3 Kopling flens luwes 157

Gambar 6.4 Geseran pada flens 158

Gambar 6.5 Gaya geser pada pasak 162

Gambar 7.1 Grafik hubungan antara kecepatan spesifik, efisiensi Hidrolis, serta koefisien kavitasi Thoma 177

Gambar 8.1 Kerugian-kerugian hidrolis 183

Gambar 8.2 Grafik hubungan antara kapasitas pompa (Q) dengan head pompa (H) 194

Gambar 8.3 Grafik hubungan antara kapasitas pompa (Q) dengan efisiensi (η) 194

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR SIMBOL

A = luas penampang aliran dalam pipa (m^2)

A_h = luas penampang *impeller hub* (m^2)

A_o = luas penampang *impeller eye* (m^2)

A_1 = luas penampang sisi masuk impeler (m^2)

BHP = daya kuda rem (HP)

b = lebar sudu (m)

b_1 = lebar sisi masuk impeler

b_3 = lebar sisi masuk olut (mm)

b_m = lebar sudu rata-rata (mm)

C = kapasitas beban dinamis (Newton)

C_3 = kecepatan rata-rata di dalam volut (m/s)

C_b = faktor koreksi beban lentur

C_m = kecepatan meridional (m/s)

C_0 = kecepatan aksial (m/s)

C_p = *Pfleiderer's correction*

C_u = komponen tangensial dari kecepatan absolut (m/s)

c_{dr} = kecepatan rata-rata fluida di sisi tekan (m/s)

C_m = kecepatan meredian (m/s)

c_{sr} = kecepatan rata-rata fluida di sisi isap (m/s)

D = diameter pipa (m)

d = diameter impeler (m)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

d_h = diameter *impeller hub* (m)

d_{sh} = diameter poros (cm)

d_0 = diameter inlet impeler (m)

d_1 = diameter ujung sisi masuk impeler (m)

F = gaya tangensial (kg)

F_a = beban aksial (kg)

FHP = daya kuda fluida (HP)

F_r = beban radial (kg)

f = koefisien gesek

G = modulus geser (kg/cm^2)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s^2)

H = head total pompa (m)

H_{act} = head aktual (m)

H_d = head dinamis (m)

H_{eq} = head kerugian pada peralatan-peralatan lain (m)

HP_{DF} = daya kuda yang diperlukan untuk mengatasi gesekan pada impeler (HP)

HP_H = daya kuda yang diperlukan untuk mengatasi kebocoran (HP)

HP_L = daya kuda yang digunakan untuk mengatasi kebocoran (HP)

HP_M = daya kuda yang digunakan untuk mengatasi kerugian mekanis (HP)

H_p = head pompa (m)

H_{st} = head statis (m)

H_{th} = head teoritis (m)

$H_{th\infty}$ = head Euller (m)

Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

H_z = pebedaan tinngi muka air antara sisi isap dan sisi tekan (m)

h_{fs} = head kerugian pada pipa lurus (m)

h_m = head kerugian kecil (m)

h_h = kerugian-kerugian hidrolis pada pompa (m)

h_s = rugi-rugi turbulensi (m)

I = momen inersia (cm^4)

J = momen inersia polar (cm^4)

K_{cm} = koefisien kecepatan

K_t = faktor koreksi beban kejut

k = koefisien kerugian head

l = panjang pipa (m)

M = momen lengkung (kg/cm^2)

$NPSH_A$= NPSH yang tersedia (m)

$NPSH_R$= NPSH yang diperlukan (m)

n = kecepatan putar poros (rpm)

n_{cr} = kecepatan kritis (rpm)

n_{sf} = bilangan bentuk

n_{sp} = kecepatan spesifik dinamik

n_{sq} = kecepatan spesifik kinematik

P = daya penggerak (HP)

P = beban ekivalen (kg)

P_{dr} = tekanan pada *delivery reservoir* (psi)

P_{sh} = daya poros pompa (HP)

Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

P_{sr} = tekanan pada reservoir isap (psi)

Q = kapasitas pompa (m^3/s)

Q' = kapasitas aliran melalui impeler (m^3/s)

Q_s = kapasitas pompa tanpa adanya *shock losses* (m^3/s)

Re = bilangan Reynold

S = tebal sudu (mm)

S_f = faktor keamanan

S_u = tebal sudu dalam arah keliling (mm)

s.g. = berat jenis spesifik fluida yang dipompa

T = momen torsi (kg mm)

t_1 = panjang lingkar antar sudu (m)

u = kecepatan keliling (m/s)

V = kecepatan aliran (m/s)

V_d = kecepatan keluar (m/s)

V_{sudu} = volume sudu (mm^3)

W = berat impeler (kg)

z = jumlah sudu

ν = viskositas kinematis (m^2/s)

γ = berat jenis fluida (kN/m^3)

θ = defleksi puntiran (rad)

ε = faktor penyempitan

η_t = efisiensi total pompa

η_v = efisiensi volumetris pompa

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Perancangan Pompa Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Mesin Reverse Osmosis
Aan Eddy Antana, Ir. Hermawan, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2002 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

η_h = efisiensi hidrolis pompa

η_m = efisiensi mekanis

τ = tegangan geser (kg/mm^2)

σ = kekuatan tarik (kg/cm^2)

σ = koefisien kavitasi Thoma

β = sudut sudu (^{0})

φ = koefisien penyempitan

ϑ = sudut overlap

μ = faktor slip