

MESIN-MESIN FLUIDA

PERENCANAAN POMPA SENTRIFUGAL PENGISI AIR KETEL

KAPASITAS : 13 Ton/Jam
TEKANAN : 16 Bar
KAPASITAS POMPA : $16 \text{ m}^3/\text{Jam}$ ($4,488 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$)
HEAD POMPA : 178 m

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi tugas- tugas
Dan syarat- syarat untuk mencapai
Gelar Sarjana Teknik

Oleh :

ASRIL PARLAUNGAN LUBIS

NIM : 00 813 0064



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2003

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

PERENCANAAN

POMPA SENTRIFUGAL PENGISI AIR KETEL

KAPASITAS KETEL : 13 Ton/Jam
TEKANAN : 16 Bar
KAPASITAS POMPA : 16 m³/Jam (4,488 x 10⁻³ m³/det)
HEAD POMPA : 178 m

SKRIPSI

Oleh :

ASRIL PARLAUNGAN LUBIS

NIM : 00 813 0064

*Skripsi sebagai salah satu syarat untuk
Menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik
Universitas Medan Area*

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2003**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
TUGAS SARJANA
MESIN FLUIDA
PERENCANAAN
POMPA SENTRIFUGAL UNTUK PENGISI AIR KETEL

KAPASITAS KETEL : 13 Ton/Jam
TEKANAN : 16 Bar
KAPASITAS POMPA : 16 m³/jam (4,488 x 10⁻³ m/det)
HEAD POMPA : 178 m

Oleh :

ASRIL PARLAUNGAN LUBIS

NIM : 00 813 0064

Menyetujui :
Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Ir. Tugiman K, MT

Pembimbing II

Ir. Amrinsyah

Mengetahui :

Ketua Jurusan

Ir. Darianto, M. sc

Dekan

Drs. Dadan Ramdan, M.Eng, Sc

Tanggal lulus : 27 Agustus 2003

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

Jalan kolam No. 1 Medan Estate telp 7366878-7357771

AGENDA No. 451/FTJM/2003

Diterima tanggal : 18-03-2003

Paraf

Nama : Asril Parlaungan Lubis
No. Stambuk : 00 813 0064
Mata kuliah : Mesin Fluida
Spesifikasi : Rencanakanlah sebuah pompa pengisian air ketel dengan :
- Kapasitas : 13 Ton/Jam
- Tekanan : 16 Bar
Diberikan tanggal : 22 Juli 2003
Selesai tanggal : 5 Agustus 2003

Medan, 22 Juli 2003

Ketua jurusan

Dosen Pembimbing



Ir. Darianto, Msc



Ir. Tugiman K, MT

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24



UNIVERSITAS MEDAN AREA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
Jalan kolam No. 1 Medan Estate Telp. 7366878-7357771

AGENDA No : 451/FTJM/2003

Diterima Tgl : 18-3-2003

Paraf :

Kepada Yth. Sdr. Ir. Tugiman K.MT / Ir. Amrinsyah.

Staff Pengajar jurusan mesin

Fakultas Teknik UMA

Di : Medan.

Dengan hormat,

Mahasiswa yang namanya tersebut dibawah ini :

Nama : Asril parlaungan LBS

No. Stambuk : 00.813.0064

Telah memenuhi syarat untuk mengambil tugas :

Tugas Sarjana

Mata pelajaran yang diambil :

Pompa Sentrifugal Pengisi Air Ketel

Medan, 18-3-2003

Koordinator Rencana Sarjana

(Ir. Amrinsyah Nst, MT)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Skripsi ini merupakan tugas akhir perkuliahan pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan yang tidak lepas dari kekurangan dan kelemahan - kelemahan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan pengetahuan penulis, baik secara teoritis maupun dalam penelitian lapangan. Oleh karena itu penulis menerima segala saran dan kritikan yang sifatnya membangun dari para pembaca untuk kesempurnaan Skripsi ini.

Dalam penulisan Skripsi ini, maka penulis telah banyak menerima bimbingan, bantuan moril dan materil yang berupa petunjuk dan nasehat serta buah pikir dari beberapa pihak. Maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih setulus - tulusnya kepada :

1. Kedua orang tua ku atas segala upaya serta iringan doanya, sehingga aku dapat menyelesaikan pendidikan di Perguruan Tinggi ini.
2. Abang serta kakak yang telah membantuku dalam perkuliahan serta Skripsi ini.
3. Bapak Ir. Amirsyam Nasution, MT, yang telah memberikan nasehat - nasehatnya yang sangat berguna.
4. Bapak Ir. Tugiman K, MT, sebagai Dosen Pembimbing I
5. Bapak Ir. Amrinsyah sebagai Dosen Pembimbing II.

6. Seluruh dosen serta staf pengajar pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
7. Rekan - rekan mahasiswa dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Atas bantuan yang diberikan, penulis mendoakan dan berharap semoga Allah SWT dapat membalas semua kebaikan dari pihak - pihak yang telah banyak membantu semasa kuliah dan penulisan Skripsi ini.



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	I
DAFTAR ISI.....	III
DAFTAR ISTILAH.....	X
LAMBANG YUNANI.....	XIV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar belakang masalah.....	1
a. Air minum.....	2
b. Pengairan.....	2
c. Industri kimia dan industri minyak.....	2
d. Industri lain.....	3
e. Pompa drainase (Pengerangan).....	3
f. Pelayanan pusat tenaga.....	3
B. Alasan pemilihan judul.....	5
C. Tujuan perancangan.....	5
D. Ruang lingkup perancangan.....	6
E. Metodologi perancangan.....	6
BAB II. PEMBAHASAN MATERI.....	7
A. Fungsi ketel.....	7
B. Prinsip pembentukan uap.....	7

C. Pompa sebagai bagian dari ketel uap.....	8
D. Klasifikasi pompa.....	8
D.1. Pompa tekanan statis.....	8
D.1.a. Pompa torak.....	9
D.1.b. Pompa putar.....	9
D.2. Pompa tekanan dinamis.....	9
E. Klasifikasi berdasarkan bentuk impeller.....	12
E.1. Impeller jenis radial.....	12
E.1. Impeller jenis perancis.....	12
E.3. Impeller jenis aliran campuran.....	13
E.4. Impeller jenis propeller atau aksial flow.....	13
F. Klasifikasi berdasarkan jenis fluida yang dipompakan.....	14
F.1. Impeller tertutup.....	14
F.2. Impeller setengah terbuka.....	14
F.3. Impeller terbuka.....	15
F.4. Impeller saluran.....	15
G. Pemilihan pompa.....	16
- Pompa Sentrifugal.....	16
- Pompa torak.....	16

BAB III. PENETAPAN SPESIFIKASI.....	18
A. Air pengisi ketel.....	18
A.1. Pengolahan luar (External treatment).....	18
B. Alasan pemilihan pompa.....	19
B.1. Kapasitas pompa.....	20
B.2. Head pompa.....	21
B.3. Diameter pipa isap.....	24
B.4. Kerugian head pada pipa isap.....	25
B.4.a. Kerugian akibat gesekan.....	25
B.4.b. Kerugian akibat kelengkapan sepanjang pipa isap.....	28
B.4.b.1. Kerugian head karena belokan.....	28
B.4.b.2 Kerugian karena katup gerbang.....	29
B.5. Kerugian head pada pipa tekan.....	29
B.5.a. Kerugian akibat gesekan.....	29
B.5.b. Kerugian akibat kelengkapan sepanjang pipa tekan.....	30
B.5.b.1. Kerugian head karena katup searah.....	30
B.5.b.2. Kerugian head karena katup gerbang.....	31
B.5.b.3. Kerugian head karena belokan.....	31
C. Kerugian head karena perbedaan tekanan.....	32
D. Head statis.....	33
E. Head dinamis.....	33
F. Penentuan jenis pompa.....	34

G. Putaran pompa.....	35
H. Putaran spesifik.....	36
I. Efisiensi pompa.....	39
J. Daya pompa dan motor penggerak.....	40
K. Spesifikasi hasil perancangan.....	42

BAB IV. UKURAN - UKURAN UTAMA.....43

IV.A. Perencanaan poros.....	43
IV.B. Perencanaan dimensi impeller.....	45
IV.B.1. Diameter hubungan.....	46
IV.B.2. Diameter mata impeller.....	47
IV.C. Perencanaan impeller sisi masuk.....	48
IV.C.1. Perencanaan sisi masuk.....	48
IV.C.2. Lebar impeller.....	48
IV.C.3. Kecepatan Absolut (masuk).....	49
IV.C.4. Kecepatan Tangensial.....	49
IV.C.5. Sudut Tangensial.....	50
IV.C.6. kecepatan Relatif.....	50
IV.D. Perencanaan impeller sisi keluar.....	50
IV.D.1. Diameter sisi luar.....	50
IV.D.2. Lebar impeller.....	51
IV.D.3. Kecepatan tangensial.....	52

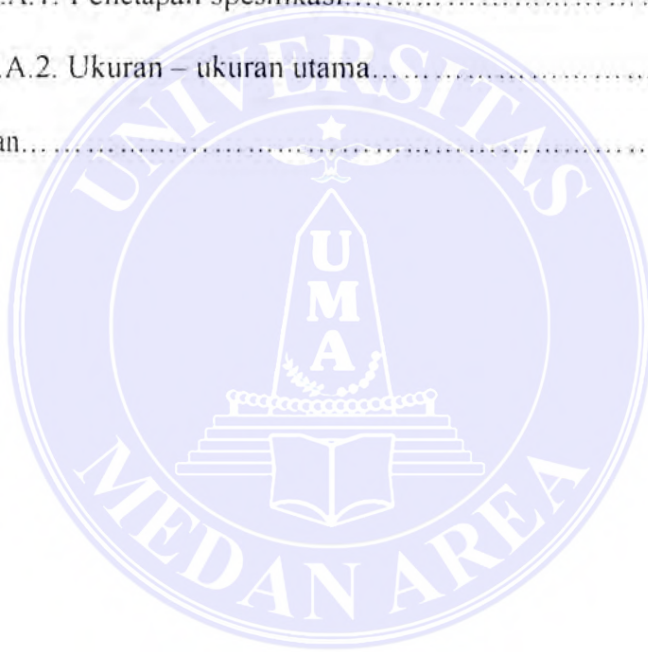
IV.D.4. Sudut Tangensial.....	52
IV.D.5. Sudut aliran	54
IV.D.6. Kecepatan absolut keluar.....	55
IV.D.6. kecepatan Relatif.....	55
IV.E. Perhitungan kecepatan akibat aliran sirkulasi.....	55
IV.E.1. Kecepatan Radial.....	55
IV.E.2. Kecepatan tangensial keluar.....	55
IV.E.3. Kecepatan absolut.....	56
IV.E.4. Sudut Tangensial keluar.....	56
IV.E.5. sudut aliran fluida keluar.....	56
IV.F. Perencanaan sudu impeller.....	57
IV.F.1. Jumlah sudu impeller.....	57
IV.F.2. Jarak antara sudu impeller.....	58
a. Pada sisi masuk.....	58
b. Pada sisi keluar.....	58
IV.F.3. Tebal sudu impeller.....	58
IV.F.4. Melukis bentuk sudu impeller.....	58

BAB V. PERHITUNGAN GAYA DAN PUTARAN KRITIS.....63

V.A. Gaya aksial.....	63
V.A.1. Besar gaya Aksial.....	63
V.A.2. Mengatasi gaya aksial.....	65

V.B. Gaya Radial.....	66
V.B.1. Berat poros pompa.....	66
V.B.2. Berat Impeller.....	67
V.B.3. Besar gaya Radial.....	70
V.C. Bantalan dan Pasak.....	72
V.C.1. Bantalan aksial – radial.....	72
V.C.1.a. Pemilihan bantalan.....	73
V.C.2. Pemeriksaan kekuatan bantalan.....	76
V.C.3. Pasak.....	77
V.C.3.a. Pemeriksaan kekuatan.....	78
V.D. Putaran Kritis.....	80
V.D.1. Defleksi akibat gaya diantara bantalan A dan B.....	81
V.D.2. Defleksi akibat beban terbagi rata sebelah kiri bantalan A.....	83
V.D.3. Defleksi akibat beban terbagi rata sebelah kanan bantalan B.....	84
BAB VI. PERAWATAN.....	86
VI.A. Pemeriksaan kondisi operasi pompa.....	86
VI.A.1. Pemeriksaan dan pemeliharaan mingguan.....	86
VI.A.2. Pemeriksaan bulanan.....	87
VI.A.3. Pemeriksaan bagian – bagian yang aus.....	87
VI.B. Tekanan pompa.....	88
VI.C. Arus listrik.....	88

VI.D. Pemeriksaan keausan dan korosi.....	88
VI.E. Kebocoran sekat.....	89
VI.F. Pelumasan.....	90
VI.G. Kavitasi.....	90
BAB VII. PENUTUP.....	92
VII.A. kesimpulan.....	92
VII.A.1. Penetapan spesifikasi.....	92
VII.A.2. Ukuran – ukuran utama.....	93
VII.B. Saran.....	96



DAFTAR ISTILAH

SIMBOL	NAMA	SATUAN
B	Lebar Pasak	mm
b_1	lebar impeller pada sisi masuk	mm
b_2	lebar impeller pada sisi luar	mm
c	koefisien poros	
C'	beban dinamis spesifik pada bantalan	kg
C_b	faktor lenturan	
D_a	diameter dalam tiap segmen	mm
D_b	diameter luar tiap segmen	mm
D_1	diameter sisi masuk impeller	mm
D_2	diameter sisi keluar impeller	mm
D_s/D_1	Poros pompa	mm
d_s	Diameter poros	mm
D_o	diameter mata impeller	mm
D_h	diameter hubungan	mm
D_p	diameter poros tiap segmen	mm
E	modulus elastis	kg/mm ²
F_A	bantalan aksial	kg
F_B	bantalan radial	kg
F_1	faktor penyempitan pada sisi masuk	
F_2	faktor penyempitan pada sisi keluar	

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

F_{ap}	besar gaya aksial	kg
F_a	gaya aksial	kg
F_h	faktor umur pemakaian	
F_n	faktor kecepatan	
g	percepatan gravitasi	m/det ²
h_p	head pompa	m
h_{sf}	kerugian akibat gesekan (pipa isap)	m
h_{sb}	kerugian head karena belokan (pipa isap)	m
h_{sg}	kerugian head karena katup gerbang (pipa isap)	m
h_{is}	total head (pipa isap)	m
h_{df}	kerugian akibat gesekan (pipa tekan)	m
h_{db}	kerugian head karena belokan (pipa tekan)	m
h_{ds}	kerugian head karena katup searah (pipa tekan)	m
h_{dg}	kerugian head karena katup gerbang (pipa tekan)	m
h_{dk}	total head (pipa tekan)	m
H_{st}	head statis	m
H_{dd}	tinggi permukaan air pada ketel ke pompa	m
H_{sd}	tinggi permukaan air pada dearator ke pompa	m
H_{dy}	head dinamis	m
H_t	head total	m
H_i	head pompa peringkat	m
H_t	head total	m
H_t	head total	m

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

H_{th}	head teoritis	m
I	momen inersia	mm^4
K_b	konstanta belokan	inci
K_g	konstanta tahanan katup gerbang	inci
K_s	konstanta katup searah	inci
L	jarak bantalan	mm
L_s	panjang pipa isap	m
L_d	panjang pipa tekan	m
L_h	umur bantalan	m
n_s	putaran spesifik	rpm
n_c	kecepatan sudut kritis	rpm
p_i	beban aksial ekuivalen dinamis	kg
p_1	jarak antar sudu impeller pada sisi masuk	mm
p_2	jarak antar sudu impeller pada sisi keluar	mm
p_t	tekanan fluida dibelakang impeller	kg/m^2
p_o	tekanan fluida dimuka impeller	kg/m^2
p_{am}	gaya aksial karena pengaruh perubahan momentum	kg
Q_p	kapasitas pompa	m^3/det
Q_{ts}	kapasitas teoritis	m^3/det
Q_c	beban terbagi rata sepanjang poros	m^3/det
R_1	jari – jari sudu bagian dalam	mm
R_2	jari – jari sudu bagian luar	mm

UNIVERSITAS MEDAN AREA

S_{f1}	faktor keamanan kelelahan puntir	
S_{f2}	faktor keamanan alur pasak	
T	momen puntir	kg/mm
U_1	kecepatan tangensial masuk	m/det
U_2	kecepatan tangensial keluar	m/det
V	volume (viskositas kinematik air)	m ² /det
V_1	kecepatan absolut masuk	m ³ /det
V_2	kecepatan absolut keluar	m/det
V_s/V_d	kecepatan aliran dalam pipa	m/det
V_o	kecepatan fluida masuk pada ata impeller	m/det ²
V_{r1}	kecepatan radial pada sisi masuk	m/det
V_{r2}	kecepatan radial pada sisi keluar	m/det
V_{t1}	kecepatan tangensial pada sisi masuk	m/det
V_{t2}	kecepatan tangensial pada sisi keluar	m/det
W_1	kecepatan relatif sisi masuk	m/det
W_2	kecepatan relatif sisi keluar	m/det
W_p	berat poros	kg
W_{ptot}	total berat poros	kg
W_i	total berat impeller	kg
W_{is}	total berat sudu + impeller	kg
X	faktor beban aksial	
Y	faktor beban radial	
Z	jumlah sudu impeller	

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

LAMBANG YUNANI

SIMBOL	NAMA	SATUAN
γ = GAMMA	berat jenis	kg/m ³
α = ALPHA	Sudut faktor korelasi	(.)
π = PHI	Besaran tak berdimensi	(.)
τ = TAU	Tegangan geser	kg/mm ²
ε = EPILSON	Harga faktor kontruksi	
δ =	Tegangan tarik	kg/mm ²
β = BETA	Sudut aliran	(.)
Φ = PHI	Harga koefisien	
η = ETA		
Δ = DELTA		
ρ = RHO	jari – jari sudu	kg/mm ²
Σ = SIGMA	kekuatan tarik	kg/mm ²

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah.

Energi adalah sesuatu yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan ini, dimana pendaayagunaannya perlu terus dikembangkan untuk kesejahteraan kehidupan manusia.

Hukum kekekalan energi mengatakan bahwa, "*Energi tidak dapat diciptakan dan energi tidak dapat dimusnahkan*". Hal ini mengandung arti bahwa energi itu hanya mengalami perubahan bentuk. Oleh karena itu kita harus mengupayakan untuk menggunakan energi yang ada, agar dapat dimanfaatkan demi kesejahteraan manusia.

Satu diantara usaha pemampaan untuk kesejahteraan sumber energi dapat kita temui pada penggunaan ketel uap. Kita dapat mengkonversikan energi untuk pembangkit tenaga. Ketel uap dapat menghasilkan uap yang dapat digunakan sebagai satu diantara alternatif sumber energi dalam mekanisme unit pabrik atau industri.

Ketel uap mengandung air sebagai umpan untuk memindahkan kandungan energi dari bentuk energi panas menjadi bentuk energi tekanan pada drum ketel. Pada sistem indicator dipergunakan pompa yang bertujuan untuk memberikan nilai tambah, khususnya efektifitas pelayanan aliran sirkulasi dari kebutuhan air umpan, sehingga kondisi pengoperasian dapat berlangsung dengan baik.

Dalam kehidupan modern seperti sekarang ini, pompa mempunyai penggunaan yang sangat luas hampir disegala bidang kegiatan seperti : pertanian, industri rumah tangga dan sebagainya. Berikut ini adalah contoh – contoh pelayanan pompa bagi aktifitas manusia

I.a. Air minum

Pompa penyalur air minum ini mempunyai berbagai macam ukuran dari ukuran yang besar untuk perkotaan sampai yang kecil untuk gudang dan rumah tangga.

Dalam praktek penyediaan air terdapat empat macam cara yaitu :

- Penyediaan air dari tangki atas
- Penyediaan air langsung
- Penyediaan air dengan tangki tekan
- Penyediaan air dengan tangki penguat

I.b. Pengairan

Pompa yang dipakai untuk pengairan lahan pertanian umumnya adalah air tawar. Pada pengairan siram, head total yang diperlukan adalah sangat besar karena nozel penyemprot pada sistem ini memerlukan tekanan tinggi. Oleh karena itu untuk pengairan siram sering dipakai pompa bertingkat banyak.

I.c. industri kimia dan industri minyak

Berbagai jenis pompa dipakai dalam sistem industri kimia dan industri minyak, didalam industri ini juga ditangani berbagai jenis zat cair hingga diperlukan berbagai jenis pompa yang menggunakan berbagai bahan konstruksi.

I.d. Industri lain

Pompa untuk pemakaian umum dan pemakaian khusus industri seperti : industri makanan, galangan kapal, dan pabrik kertas.

I.e. Pompa Drainase (pengeringan)

Untuk mengeringkan air hujan dari satu daerah yang luas, seperti lahan pertanian, dan perkantoran, head yang diperlukan umumnya rendah hingga sering dipakai pompa aksial atau aliran campuran.

I.f. Pelayanan pusat tenaga

Berbagai jenis pompa yang dipakai untuk pusat pelayanan tenaga adalah :

- **Pompa pengisi air ketel**, pompa ini berfungsi memasukkan air ke dalam ketel yang bertekanan tinggi oleh karena itu pompa ini harus tahan terhadap temperatur yg tinggi.
- **Pompa sirkulasi air**, pompa ini mengalirkan air pengisi kedalam kondensor, biasanya diperlukan pompa dengan diameter luas yang besar, karena debit yang dialirkan besar. Jika diperlukan air laut atau air sungai sebagai pendingin biasanya diperlukan head setinggi 10 m, juga harus disediakan pencegah korosi.
- **Pompa kondesat**, pompa ini dipakai untuk mengalirkan air yang di butuhkan ke dalam kondensor ke pompa pengisi ketel.
- **Pelayanan gedung**, pada gedung-gedung memerlukan pompa untuk penyediaan air minum, pemadam kebakaran, untuk pengkondisian udara dan untuk keperluan lain, pompa ini dipakai dengan berbagai cara untuk

UNIVERSITAS MEDAN AREA **arti dengan tangki atas, tangki tekan dan pompa penguat.**

Yang akan dibahas pada tulisan ini adalah jenis pompa untuk pengisian air ketel. Pompa yang dimaksud adalah sebuah alat mekanis yang berfungsi untuk memindahkan suatu cairan dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi, atau pemindahan cairan dari tekanan statisnya rendah ke daerah yang statisnya lebih tinggi.

Sebagaimana telah kita ketahui, ketel uap berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, energi panas yang di pindahkan dari hasil pembakaran bahan akan dihantarkan ke dalam bidang pemanas (Heating Surface) secara pancaran dan hambatan (radiasi dan konduksi) dari bidang pemanas di hantar lagi kepada air ketel uap secara konveksi (konvektion).

Untuk mendapatkan uap yang stabil sesuai dengan kebutuhan air pengisi ketel harus tersedia secara kontinue selama ketel masih dalam keadaan beroperasi. Untuk mendapatkan kondisi ini diperlukan alat bantu yaitu : pompa pengisi air ketel.

Terjadinya gerakan pemindahan zat cair oleh pompa di sebakn timbulnya perbedaan tekanan antara sisi masuk dengan sisi keluar cairan pompa ketika pompa sedang bekerja dan ketika menerima daya, dimana daya ini di teuskan kepada cairan dengan perantara impeller atau torak.

B. Alasan Pemilihan Judul.

Adapun perancangan pompa sentrifugal pengisian air ketel ini dipilih dengan alasan sebagai berikut :

1. Kemungkinan penggunaan secara luas.
2. Kontruksinya yang sederhana.
3. Dapat menambah wawasan pengetahuan tentang pompa.
4. Mudah dalam pengoperasian.
5. Adanya buku-buku Referensi yang dapat dipergunakan dalam analisa perancangan.
6. Adanya persetujuan dari dosen pembimbing.

C. Tujuan Perancangan

Tujuan perancangan pompa sentrifugal air ketel ini selain untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir, juga ada tujuan khususnya yaitu :

1. Agar dapat mengaplikasikan ilmu-ilmu yang diperoleh selama ini, dalam suatu bentuk perancangan mesin.
2. Untuk dapat mengembangkan kemampuan analisa dan berfikir khususnya tentang perancangan pompa yang baik untuk diterapkan dalam suatu pabrik industri.
3. Agar mahasiswa dapat ikut berpartisipasi dalam mengembangkan teknologi melalui perancangan maupun modifikasi.

D. Ruang Lingkup Perancangan

Sesuai dengan spesifikasi tugas adalah perancangan pompa untuk pengisian air ketel, maka penyusun menitik beratkan pada pemakaian pompa untuk memindahkan air dari dearator ke drum ketel. Adapun spesifikasi tugas yang dapat menghasilkan uap panas lanjut dengan data-data sebagai berikut :

- ❑ Tekanan drum ketel 16 Bar.
- ❑ Kapasitas uap pompa yang dihasilkan dari drum ketel 13 ton/jam.
- ❑ Temperatur air yang dihasilkan dearator 90° C

Adapun perancangan yang akan dibahas dalam uraian ini adalah :

- Penetapan spesifikasi
- Penentuan ukuran-ukuran utama
- Perancangan dimensi impeler
- Perhitungan gaya dan putaran kritis

E. Metodologi Perancangan

Metode yang digunakan oleh penyusun dalam tugas akhir ini adalah dengan mengambil data langsung dari tempat kerja praktek (KP) di PTP Nusantara III. Dimana dalam penyelesaiannya di bahas melalui berbagai literatur dan diskusi dengan dosen pembimbing.

BAB II

PEMBAHASAN MATERI

A. Fungsi Ketel

Ketel berfungsi untuk merubah air menjadi uap Superheater, yang bertemperatur dan bertekanan tinggi.

B. Prinsip Pembentukan Uap

Proses memproduksi uap ini disebut "*Steam Raising*" (pembuatan). Alat yang digunakan untuk membuat uap disebut Boiler (ketel) atau lebih tepat disebut "*Steam Generator*" (pembangkit uap). Bila air dingin dipanaskan dalam bejana terbuka, energi yang diberi ke air menyebabkan temperatur air naik. Bila kita teruskan pemanasan maka air akan mendidih. Penambahan energi panas lebih lanjut akan menghasilkan uap, tetapi tidak menaikkan temperatur. Temperatur pada saat pendidihan disebut "*Boiling Point*" (titik pendidihan).

Bila air dalam bejana tertutup dipanaskan, maka diperlukan sejumlah panas dan dikenal sebagai panas sensible (*sensible heat*) yang digunakan untuk menaikkan temperaturnya hingga titik didih. Untuk mengubah air pada titik didih ini menjadi uap pada temperatur yang sama, harus ditambahkan sejumlah panas yang dikenal sebagai panas laten. Volume uap yang terbentuk jauh lebih besar dan akibatnya tekanan didalam bejana tertutup akan naik. Dengan demikian pemakaian panas laten menyebabkan suatu tekanan. Sebaliknya, bila panas laten diambil dari uap dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

pendinginan seperti panas laten diambil dari uap dengan pendinginan seperti dalam kondensor, maka akan terbentuk air. Tekanan didalam bejana tertutup akan turun akibat pengurangan volume.

C. Pompa Sebagai Bagian Ketel Uap

Pompa dibuat sebagai alat pemindah fluida air, yang bekerja atas dasar mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan kepada alat tersebut digunakan untuk meningkatkan kecepatan dan elevasi (ketinggian).

Pemberian energi mekanik kepada pompa, dikenal dengan mesin penggerak pompa yang dapat dilakukan oleh :

- Motor listrik
- Turbin uap/gas
- Mesin uap torak
- Motor bakar

D. Klasifikasi Pompa

Berdasarkan prinsip kerjanya pompa diklasifikasikan atas dua bagian, yaitu :

- D.1. Pompa tekanan statis (positive displacement)
- D.2. Pompa tekanan dinamis (dynamic pump)

Rotasi unsur pemompa menyebabkan pembesaran volume, sehingga terjadi vakum dan oleh tekanan atmosfer cairan masuk melalui saluran masuk, kemudian terdorong ke dinding, sehingga cairan terjebak. Rotasi lebih lanjut membawa jebakan cairan ini ke ruang saluran keluar. Disini rotasi unsur pemompa menyebabkan pengecilan/penciutan volume, sehingga terjadi kenaikan tekanan yang selanjutnya melalui saluran keluar cairan bertekanan tersebut mengalir.

Contoh pompa putar adalah:

- i. Pompa roda gigi (gear pump)
- ii. Pompa sudu (vane pump)

D.2. Pompa tekanan dinamis

Pompa tekanan dinamis mempunyai prinsip kerja dengan cara memberikan energi mekanis kepada fluida yang akan di pindahkan.

Ciri-ciri pompa ini adalah sebagai berikut:

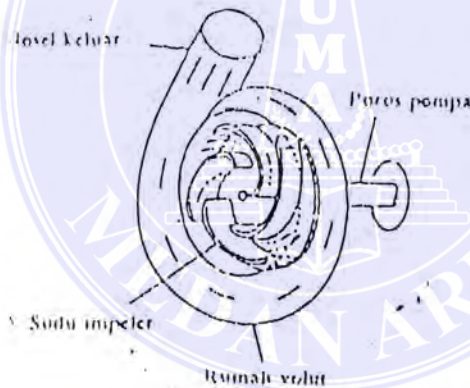
- i. Fluida mengalir melalui sudu-sudu secara terus-menerus.
- ii. Mempunyai bagian utama berupa roda dengan keterangan sudu-sudu disekelilingnya.

Salah satu contoh yang termasuk pompa tekanan dinamis adalah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal terdiri dari dua komponen utama yaitu:

- Baling - baling (impeller)
- Rumah pompa (pump casing/volute)

Air masuk dari saluran isap disebabkan oleh adanya kevakuman pada mata baling-baling dan tekanan atmosfer. Pada permulaan, udara yang ada dalam rumah

pompa diputar oleh baling-baling dan memperoleh percepatan. Perubahan kecepatan ini akan menimbulkan vakum yang berbanding lurus dari inersia dari fluidanya. Oleh karena udara mempunyai densitas yang kecil, sehingga kevakuman yang terjadi terlalu kecil untuk memungkinkan tekanan atmosfer mendorong air naik ke pompa melalui pipa isap dan selanjutnya dipompakan. Untuk mendapatkan kevakuman yang cukup, yang diputar baling-baling haruslah fluida yang mempunyai densitas yang besar yaitu fluida cair. Kalau kedalam pompa dimasukkan fluida cair (dipancing) maka kevakuman akan cukup, sehingga air dengan tekanan atmosfer dapat ditekan ke jalur isap dan masuk ke pompa. Untuk ini pompa selalu ada fluida cair, yang mengakibatkan semua udara dalam pipa isap dapat dipisahkan dan dikeluarkan.



Gambar pompa sentrifugal

E. Klasifikasi Berdasarkan Bentuk Impeller

E.1. Impeller Jenis Radial

Bentuk impeller ini dipakai untuk tinggi tekanan menengah dan tekanan tinggi dengan tinggi tekanan kira-kira 45 meter. Pada jenis ini impeller mempunyai konstruksi sedemikian rupa sehingga aliran fluida yang keluar dari impeller akan melalui sebuah bidang tegak lurus proses pompa.



Impeller Jenis Radial

E.2. Impeller Jenis Perancis

Pada jenis ini, arah aliran fluida sama dengan arah aliran fluida dalam pada impeller radial, namun pada jenis ini head yang di hasilkan lebih kecil bila dibandingkan dengan pompa radial. Jenis pompa ini sering dipergunakan untuk pompa isapan ganda dimana kapasitas dan putaran spesifiknya lebih besar dari pompa radial.



UNIVERSITAS MEDAN AREA Impeller Jenis Perancis

E.3. Impeller Jenis Aliran Campuran

Pompa ini mempunyai aliran masuk ke arah aksial dan keluar dari impeller dengan arah radial dan sebagian lagi ke arah aksial di karenakan uiung-ujung sisi keluarnya miring. Jenis pompa ini mempunyai kapasitas dan putaran spesifiknya lebih besar dibandingklan dengan pompa radial dan head yang dihasilkan sama dengan jenis poros perancis.



Impeller Jenis Aliran Campuran

E.4. Impeller Jenis Propeller atau aksial Flow

Pompa aksial impeller ini aliran masuk dan keluar ke arah aksial, dimana head yang dihasilkan adalah akibat daya dorong dari sudu-sudu pompa tersebut dan besarnya head yang dihasilkan kecil tetapi kapasitas dan putaran spesifiknya tinggi.

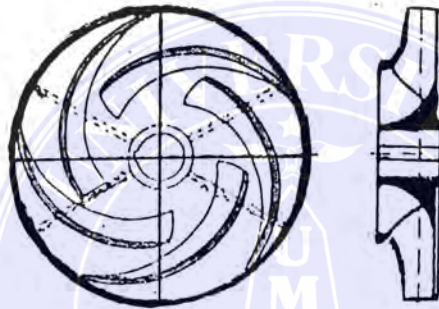


Impeller Jenis Aksial

F. Klasifikasi Berdasarkan Jenis Fluida Yang Dipompakan

F.1. Impeller Tertutup

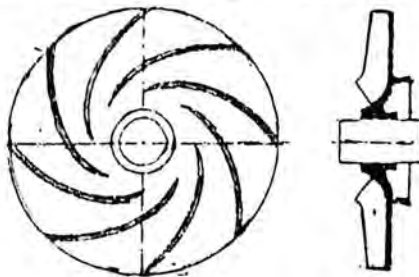
Impeller ini digunakan untuk memompakan fluida yang bersih dan bebas dari zat lain. Impeler jenis ini sudu-sudunya dibatasi oleh dua buah dinding, dimana efisiennya lebih besar dari jenis lainnya.



Impeller Tertutup

F.2. Impeller Setengah Terbuka

Impeller jenis ini digunakan untuk memompakan fluida yang sedikit mengandung kotoran. Impeller ini terbuka pada satu sisi diantara sisinya yaitu pada bagian sisi isap. Sedangkan efisiennya lebih besar dari jenis terbuka.



Impeller Setengah Terbuka

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

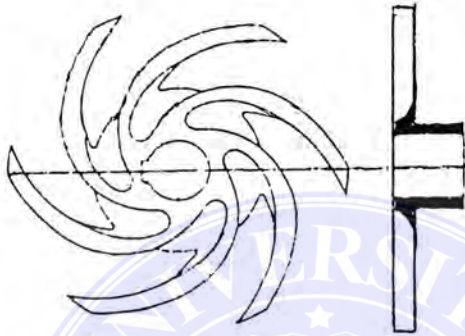
Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

F.3. Impeller Terbuka

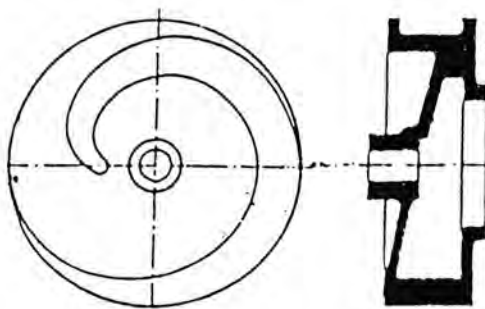
Impeller jenis ini digunakan untuk memompakan fluida cair yang mengandung kotoran. Sedangkan efisiensinya lebih rendah dari kedua jenis diatas.



Impeller Terbuka

F.4. Impeller Saluran

Impeller ini di gunakan untuk memompakan zat cair yang sangat banyak mengandung kotoran seperti air riol (potongan), asal tidak mengandung serat yang panjang. Impeller ini terdiri dari dua atau tiga buah saluran segi panjang yang di bengkokkan dan semua berhubungan ke lubang aliran masuk gabungan. Efisiensi lebih tinggi dari pada impeller terbuka.



Impeller Saluran

G. Pemilihan Pompa

Dalam memenuhi kebutuhan air untuk pengisian air ketel, pompa yang dipergunakan pada umumnya terbagi dua golongan, yaitu pompa torak dan pompa sentrifugal.

Dibawah ini di jelaskan perbandingan pompa torak dan pompa sentrifugal.

Pompa Sentrifugal

1. Jenis aliran volume yang sama, harga pembelian lebih rendah.
2. Tidak banyak bagian-bagian yang bergerak (tidak ada katup dan sebagainya), jadi biaya pemeliharaan rendah.
3. Lebih sedikit memerlukan tempat.
4. Jumlah putaran tinggi, sehingga memungkinkan untuk pergerakan langsung sebuah elektromotor atau turbin.
5. Jalannya tenang, sehingga pondasinya di buat ringan.
6. Bila konstruksinya disesuaikan, memberi kemungkinan untuk mengerjakan zat cair yang mengandung cairan.
7. Aliran zat cair yang tak terputus-putus.

Pompa Torak

1. Tidak beroperasi pada putaran tinggi sehingga memerlukan sistem transmisi untuk kelengkapannya.
2. Perawatan lebih rumit dan sukar serta bobotnya besar dan pondasi harus kuat.
3. Menghasilkan aliran yang berkapasitas relatif kecil pada head yang tinggi.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

4. Tidak dapat memompa fluida yang mengandung solid material dan tidak membutuhkan pemancingan.

Dari pertimbangan diatas serta hasil penelitian lapangan yang dilakukan, maka untuk sementara diambil kesimpulan bahwa akan di pergunakan dalam perancangan ini adalah pompa sentrifugal yang di perkirakan lebih efisien untuk pengisi air ketel.



BAB III

PENETAPAN SPESIFIKASI

A. Air Pengisi Ketel

Umumnya air yang sering dipergunakan ununtuk pengisian ketel pada pabrik-pabrik adalah air dari sungai mengingat mudah di dapat. Oleh karena itu yang berasal dari sungai tak pernah dalam keadaan murni, maka perlu dilakukan sistem pengolahan agar zat organik maupun zat anorganik yang terkandung di dalam air tersebut hilang. Di dalam sistem pengolahan air ketel, banyak cara yang telah di gunakan untuk menghilangkan zat organik maupun zat anorganik antara lain :

A.1. Pengolahan Luar (External Treatment)

Air dari sumber air (air tanah, air sungai) dipompa dan dimasukkan ke bak penjernihan, yang sebelumnya di injeksikan larutan tawas.

Fungsi larutan tawas : untuk mengendapkan partikel-partikel padat yang terdapat di dalam air, dapat berupa lumpur, sisa-sisa tanaman, zat-zat buangan. Keluar dari bak penjernihan ini air sudah jernih dan dapat langsung di pergunakan sebagai air pendingin alat-alat proses.

Air dari bak penjernihan dipompakan ke bak penyaringan. Keluar dari sini air di pompakan lagi ke pelunakan air untuk menurunkan kesadahan air dari ketel. Apabila air umpan ketel kesadahannya tinggi, maka akan menyebabkan timbulnya kerak. Untuk mengatasi ini dengan menambahkan larutan tripot (Tripotassium Phosphate) ke dalam air umpan ketel. Adanya gas oksigen (O_2) yang terlarut dalam air

umpan ketel tidak di kehendaki karena akan merusak logam. Untuk menurunkan kadar O_2 di pakai larutan Natrium Sulfit, untuk mengatur PH dari air umpan ketel ini di pakai larutan Caustic Soda.

B. Alasan Pemilihan Pompa

Pada umum air pengisian ketel sebelum memasuki ketel terlebih dahulu di panaskan lagi pada dearator. Pada dearator selain penaikan temperatur air tujuan yang ingin di capai pada sistem dearator adalah untuk membuang gas-gas yang tidak di ingini yang masih terikat bersama air pengisi ketel.

Karena tekanan kerja ketel lebih besar dari tekanan dearator, maka perlu dipergunakan alat bantu pompa untuk mengalirkan air dari dearator ke drum ketel. Dari sisi lain pompa disini juga berfungsi untuk mensuflai air secara kontinue ke dalam drum ketel.

Dalam pemilihan pompa yang di rancang untuk maksud tujuan tertentu, agar dapat dioperasikan dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan yang di ingini, maka perlu di ketahui terlebih dahulu adalah spesifikasi pompa tersebut antara lain : kapasitas pompa, head pompa yang diperlukan agar pompa dapat mengalirkan fluida sampai ke tujuan.

Pompa pengisian air ketel mengalirkan air panas dari dearator ke drum ketel di mana kapasitas yang di dapat di hasilkan ketel yaitu 13 ton/jam. Pada aliran ini dapat terjadi bila head yang pompa lebih besar di bandingkan head drum ketel. Oleh karena itu perlu merancang head intalasi pompa dengan mempertimbangkan beberapa

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24

faktor yang lebih menguntungkan di dalam menyediakan kapasitas aliran air yang di butuhkan. Sehingga penetapan sistem instalasi pompa adalah pertimbangan yang relatif sudah optimum.

Jika kedua hal di atas sudah di tentukan perhitungannya, didalam pengoperasian nanti hendaknya pompa terhindar dari pengurangan zat cair sebagai akibat tekanan dalam impeller lebih rendah dari tekanan uap jenuh zat cair yang dipompakan. Yang terakhir adalah menentukan spesifikasi dari motor penggerak yang sesuai untuk kebutuhan spesifikasi pompa yang di rancang.

B.1. Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa yang dirancang dapat ditentukan dengan mempertimbangkan massa aliran uap yang hilang (akibat kebocoran-kebocoran dalam pipa instalasi kehilangan pada waktu proses industri), serta untuk penggunaan uap pada hal-hal diluar proses industri. Menurut Kerazzik¹ dituliskan, bahwa hubungan antara massa aliran pompa pengisian dengan massa aliran ketel adalah sebagai berikut :

- a. Untuk pembangkit tenaga yang kecil

$$m = (1,2 - 1,25) \text{ mass aliran ketel}$$

- b. Untuk pembangkit tenaga besar

$$m = (1,03 - 1,1) \text{ massa aliran ketel}$$

Berdasarkan spesifikasi tugas yang di berikan, perancangan di khususkan pada pembangkit tenaga yang kecil.

Maka :

$$m_p = 1,2 \times 13000 \text{ kg/jam} = 15600 \text{ kg/jam}$$

Temperatur air yang mengaklir dari dearator sebagai umpam untuk pengisian air ketel di tentukan berdasarkan pengukuran yaitu 90°C.

Sedangkan kapasitas pompa menurut Streeter² dituliskan dalam bentuk :

$$Q_p = m_p \times v$$

Dimana

$$V = \text{Volume spesifik air pada suhu } 90^\circ\text{C, m}^3/\text{kg} \\ = 1,03595 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (lampiran 1)}$$

Jadi kapasitas pompa

$$Q_p = 15600 \text{ kg/jam} \times 1,03595 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \\ = 16,160 \text{ m}^3/\text{jam} \\ = 4,488 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$$

B.2. Head Pompa

Perhitungan head pompa adalah suatu perhitungan mengenai kemampuan pompa untuk memindahkan atau mengalirkan fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi.

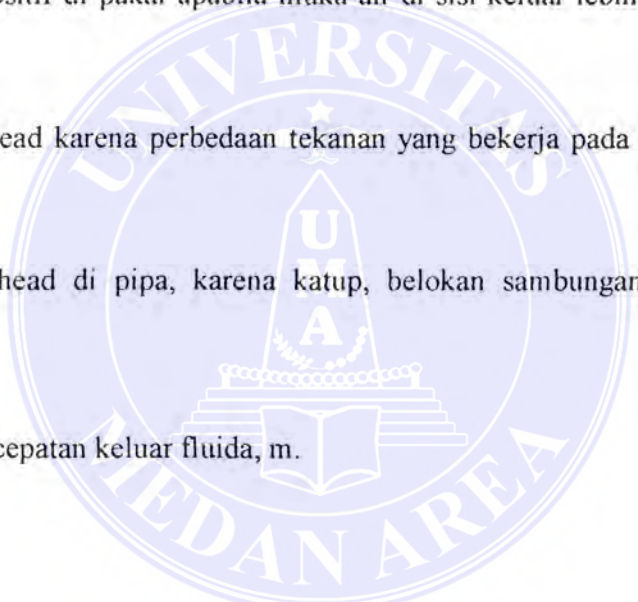
Head pompa dinyatakan dalam satuan tinggi kolom fluida dalam meter, dimana merupakan ketinggian kolom fluida yang harus dinyatakan atau di pindahkan untuk memperoleh jumlah energi yang sama dengan yang di kandung fluida oleh persatuan berat fluida.

Head pompa menurut Sularso³ dituliskan dalam bentuk :

$$H_p = h_a + h_p + h_i = \frac{Vd^2}{2g}$$

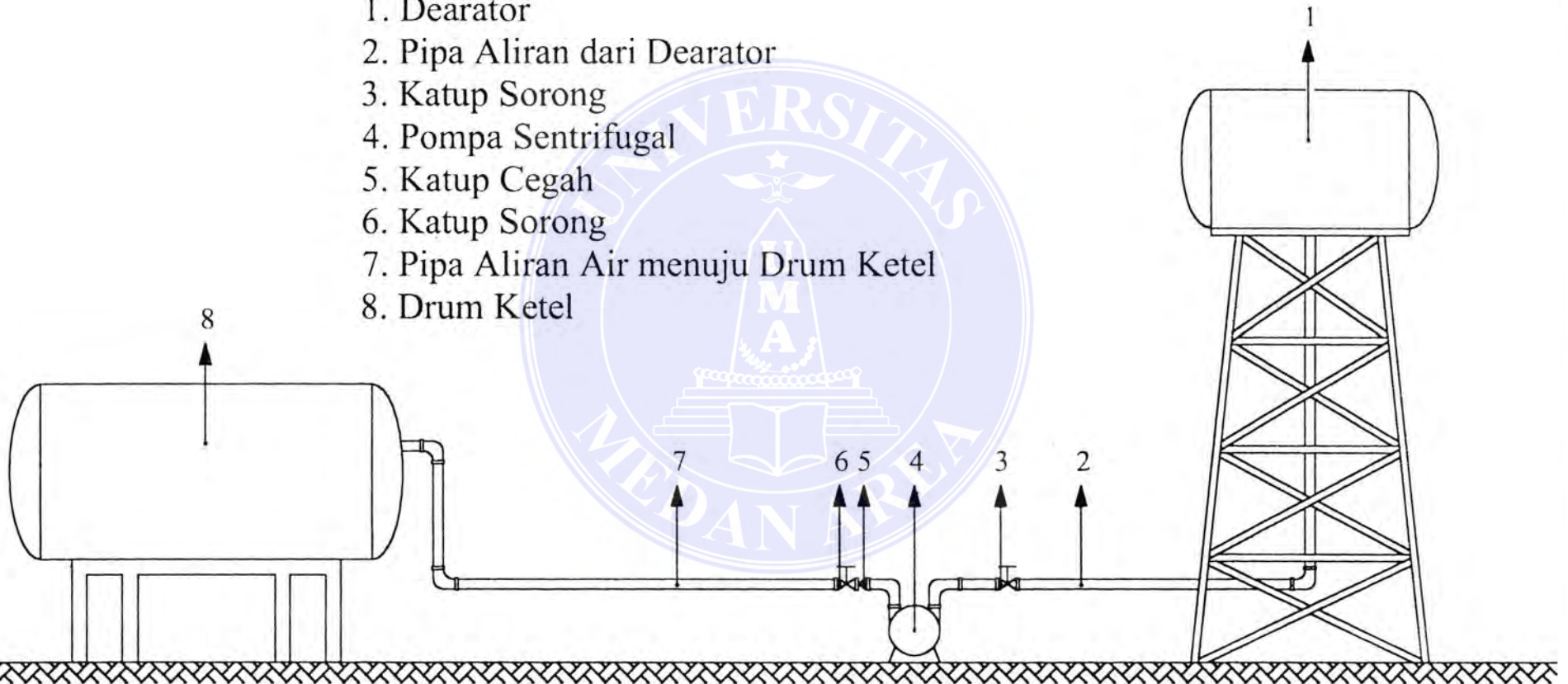
Dimana :

- H_p = Head Pompa, m
- h_a = Head ini statis adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi luar dimana tanda positif di pakai apabila muka air di sisi keluar lebih tinggi dari pada sisi isap.
- h_p = Kerugian head karena perbedaan tekanan yang bekerja pada permukaan fluida.
- h_i = Kerugian head di pipa, karena katup, belokan sambungan dan lain-lain.
- $\frac{Vd^2}{2g}$ = Head kecepatan keluar fluida, m.



Keterangan Gambar :

1. Dearator
2. Pipa Aliran dari Dearator
3. Katup Sorong
4. Pompa Sentrifugal
5. Katup Cegah
6. Katup Sorong
7. Pipa Aliran Air menuju Drum Ketel
8. Drum Ketel



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

INSTALASI POMPA

Document Accepted 10/1/24

B.3. Diameter pipa isap

Dalam pembuatan instalasi perpipaan perlu di perhitungkan diameter pipa tekan yang sesuai karena gesekan pada pipa menyebabkan kerugian head. Oleh karena itu perlu ditentukan pipa standart yang mempunyai kriteria sebagai berikut :

- Ⓜ) Pipa yang di gunakan adalah pipa standart yang ada dipasaran.
- Ⓜ) Layak dipergunakan dari segi tehnik, dari segi ekonomi yang harganya murah.

Menurut Sularso⁴ di tuliskan, bahwa hubungan antara kecepatan aliran didalam pipa dengan diameter pipa adalah sebagai berikut :

- Ⓜ) Untuk pipa berdiamater kecil kecepatan aliran diambil(1 - 2) m/det.
- Ⓜ) Untuk pipa berdiamater besar kecepatan aliran diambil(1,5 - 3) m/det.
- Ⓜ) Kecepatan tidak boleh lebih dari 6 m/det karena akan terjadi pengerusakan.

Untuk perencanaan ini diambil pipa yang berdiameter kecil dengan kecepatan aliran 1,5 m/det.

Diameter dalam pipa isap dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = V \times A$$

$$D = \sqrt{\frac{4xQ}{\pi xV}}$$

$$= \sqrt{\frac{4x4,488x10^{-3} m^3 / det}{3,14x1,5m / det}}$$

$$= 0,0617$$

Karena diameter pipa standart dalam satuan inci maka diameter dalam pipa harus diubah ke dalam satuan inci. Dimana 1 inci = 0,0254 m, maka $d = 2,417$ inci sesuai dengan standart pipa, maka diambil(lampiran 2)

- Diameter nominal pipa = 2,5 inci.
- Diameter dalam pipa = 2,469 inci (0,0627m)
- Diameter dalam pipa = 0,203 inci (0,0052m)

Jadi kecepatan air pada pipa isap menjadi :

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{4,488 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}}{3,14 \times (0,0627)^2 \text{ m}^2} \\
 &= 1,454 \text{ m/det}
 \end{aligned}$$

B.4. Kerugian Head Pada Pipa Isap

Kerugian head pada pipa isap terdiri dari kerugian karena gesekan dan kerugian karena kelengkapan – kelengkapan lainnya sepanjang pipa isap.

B.4.a. Kerugian Head Akibat Gesekan

Menurut Streeter⁵ dituliskan, bahwa head akibat gesekan dalam piupa adalah :

$$h_{sf} = \frac{f \times L_s}{d_s} \times \frac{V_s}{2g}$$

⁵ Streeter, J. Viktor, 1985. Fluida Mechanic. Hal 51

Dimana :

F = Koefisien gesek

L_s = Panjang pipa isap, m = 8,3 m

d_s = diameter dalam pipa, m
= 0,0627 m

V_s = Kecepatan aliran dalam pipa, m/det
= 1,45 m/det

g = Percepatan grafitasi, m/det²
= 9,81 m/det²

Koefisien gesekan (f) deari pipa dapat di hitung bila diketahui keofisien relatif dan bilangan Reynold (R_e) yang terjadi pada pipa isap menurut Streeter⁶ dituliskan dalam bentuk :

$$R_e = \frac{V_s \times d_s}{\nu}$$

Dimana :

V_s = Kecepatan aliran di dalam pipa, m/det

d_s = Diameter dalam pipa, m

ν = Viskoitas kinetik zat cair pada suhu 90^o C
= 0,326 x 10⁻⁶ m²/det.....(lampiran 1)

Sehingga di dapat bilangan Reynold pada pipa isap yaitu :

$$R_e = \frac{1,454 \text{ m/det} \times 0,0627 \text{ m}}{0,326 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}}$$

$$= 279649,693$$

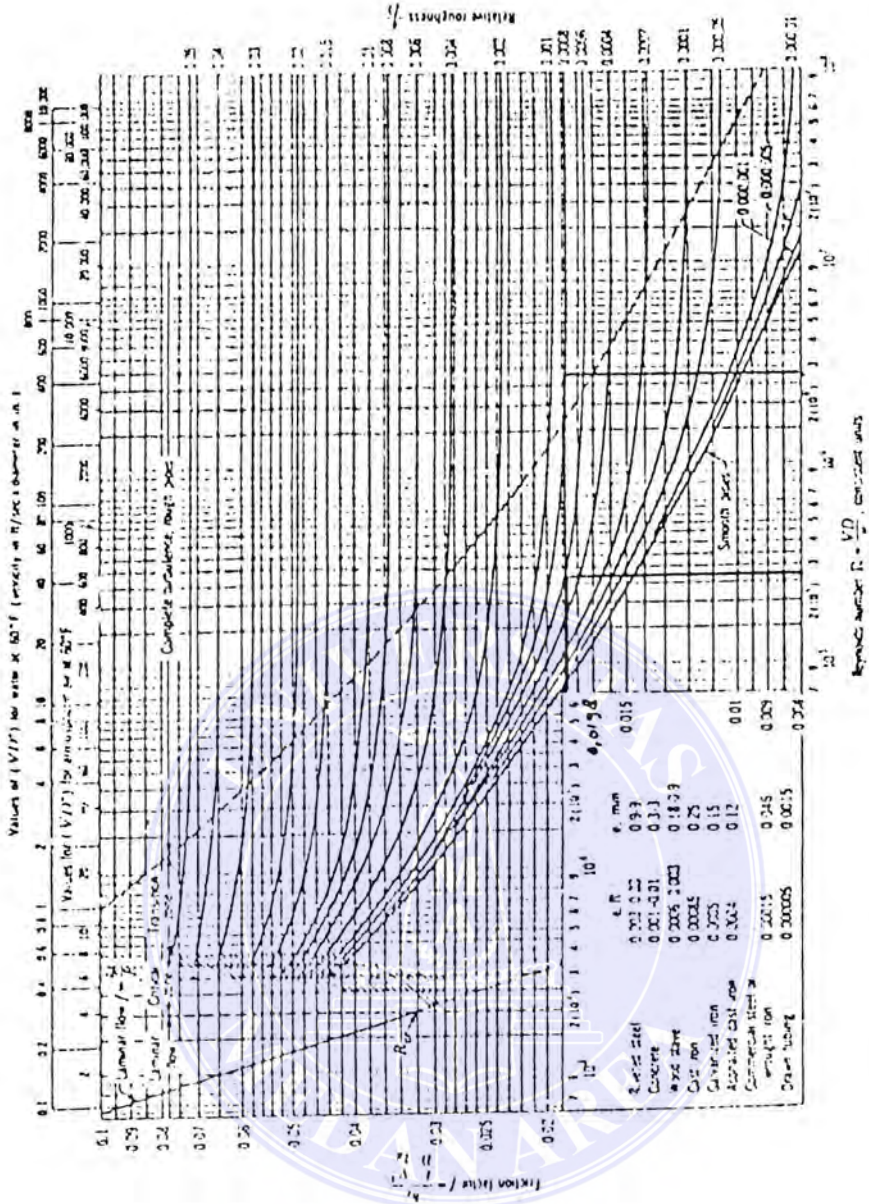


Diagram Moody

Bahan pipa yang di rancang adalah baja komersial , jadi dengan diameter pipa 2,469 inci di peroleh kekasaran = $0,002/2,469 = 0,0008$ (lampiran 3). Maka untuk bilangan Reynold 279649, 693 dan koefisien kekasaran relatif 0,008 diperoleh koefisien kekasaran gesekan (f) = 0,0198.

$$H_{sf} = \frac{0,0198 \times 8,3 \text{ m} \times (1,45 \text{ m/det})^2}{0,0627 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

B.4.b. Kerugian akibat kelengkapan sepanjang pipa isap

Saat aliran melalui jalur pipa, kerugian juga akan terjadi apabila ukuran pipa, bentuk penampang atau arah aliran berubah. Kerugian head di tempat-tempat transisi menurut Robert⁷ di tuliskan dalam bentuk :

$$H_s = \frac{K \times V_s^2}{2g}$$

Dimana :

K = Koefisien untuk berbagai bentuk transisi pipa, (harganya dapat dilihat Pada lampiran 4)

Selanjutnya kerugian karena kelengkapan sepanjang pipa isap dapat di hitung dengan cara seperti di bawah ini :

B.4.b-1. Kerugian head karena belokan

Dimana :

$$h_{sb} = \frac{K_b \times V_s}{2g}$$

h_{sb} = Konstanta belokan

= 0,30 untuk Long radius screwed 90° dengan diameter minimal 2,5inci.

Pada pipa isap di gunakan 2 elbo.

Maka

$$H_{sb} = \frac{2 \times 0,30 \times (1,45 \text{ m/det})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

$$= 0,064 \text{ m}$$

B.4.b-2. Kerugian head karena katup gerbang

$$h_{sg} = \frac{K_g \times V_s^2}{2g}$$

Dimana :

K_g = Konstanta tahanan katup gerbang

= 0,16 untuk screw gate valve dimeter 2,5 inci.....(lampiran 5)

Maka :

$$H_{sg} = \frac{0,16 \times (1,45 \text{ m/det})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$
$$= 0,017 \text{ m}$$

Jadi total kerugian head pada pipa isap dengan diameter nominal 2,5 inci adalah :

$$h_{is} = h_{sf} + h_{sb} + h_{sg}$$
$$= 0,280 + 0,064 + 0,017$$
$$= 0,361 \text{ m}$$

B.5. Kerugian head pada pipa tekan.

Untuk pipa tekan diameter nominalnya sama dengan diameter nominal pada pipa isap yaitu 2,5 inci. Dengan demikian kecepatan aliran didalam pipa tekan sama dengan kecepatan aliran pipa isap yaitu 1,45 m/det.

B.5.a. Kerugian akibat gesekan.

Besarnya kerugian head akibat gesekan di dalam pipa tekan adalah :

$$H_{df} = \frac{f \times L_d \times V_d^2}{d_d \times 2g}$$

Dimana :

f = Koefisien gesek dari pipa

L_d = Panjang pipa tekan, m,

$$= 12,35 \text{ m}$$

d_d = Diameter dalam pipa tekan

$$= 0,0627 \text{ m}$$

V_d = Kecepatan aliran dalam pipa, m/det²

$$= 1,45 \text{ m/det}$$

g = Percepatan gravitasi m/det²

$$= 9,81 \text{ m/det}^2$$

Oleh karena bahan pipa tekan sama dengan pipa isap dan diameternya juga sama, serta bilangan Reynold sama maka harga f pada pipa tekan sama dengan $f = 0,0198$. Maka kerugian head sepanjang pipa tekan yang diakibatkan oleh gesekan adalah :

$$H_{df} = \frac{0,0198 \times 12,35 \times (1,45 \text{ m/det})^2}{0,0627 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \text{ m/det}^2} = 0,417 \text{ m}$$

B.5.b. Kerugian akibat kelengkapan sepanjang pipa tekan

B.5.b.1. Kerugian head karena katub searah

$$h_{ds} = \frac{K_s \times V_d}{2g}$$

Dimana :

K_s = Konstanta tahanan katub searah

$$= 2,1 \text{ untuk Screwet swing chech valve}$$

$$= \text{diameter nominal } 2,5 \text{ inci} \dots (\text{lampiran 5})$$

Maka :

$$h_{ds} = \frac{2,1 \times (1,45 \text{ m/det}^2)^2}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

$$= 0,225 \text{ m}$$

B.5.b.2. Kerugian head karena katub gerbang

$$h_{dg} = \frac{K_g \times V_d^2}{2g}$$

Dimana :

K_g = Konstanta tahanan katup gerbang
 = 0,16 untuk Screw gate valve diameter 2,5 inci (lampiran 5)

Maka :

$$h_{dg} = \frac{0,16 \times (1,45)^2 \text{ m/det}^2}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

$$= 0,017 \text{ m}$$

B.5.b.3. Kerugian head karena belokan

$$h_{db} = \frac{K_b \times V_d^2}{2g}$$

Dimana :

K_b = Konstanta belokan (elbow)
 = 0,30 untuk long radius screw 90° diameter nominal 2,5 inci.
 = Pada pipa tekan di gunakan 3 belokan.

Maka :

$$h_{db} = \frac{3 \times 0,30 \times 1,45 \text{ m/det}^2}{2 \times 9,81 \text{ m/det}^2}$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

Maka kerugian head sepanjang pipa tekan yang di akibatkan kelengkapan - kelengkapan :

$$\begin{aligned}
 h_{dk} &= h_{df} + h_{ds} + h_{dg} + h_{db} \\
 &= 0,417 + 0,225 + 0,017 + 0,096 \\
 &= 0,755 \text{ m}
 \end{aligned}$$

C. Kerugian head karena perbedaan tekanan

Kerugian head karena perbedaan tekanan yang bekerja pada fluida Menurut Sularso⁸, di tuliskan dalam bentuk :

$$h_p = \left[\frac{P_k - P_a}{\gamma} \right]$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 P_k &= \text{Tekanan kerja ketel, kg/m}^2 \\
 &= 16 \text{ bar } (16,309 \times 10^4 \text{ kg/m}^2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_a &= \text{Tekanan pada Dearator, kg/m}^2 \\
 &= P \text{ air (P jenuh pada suhu } 90^\circ\text{C)} \\
 &= 0,7149 \text{ kg/cm}^2 (0,714 \times 10^4 \text{ kg/m}^2) \dots\dots\dots (\text{Lampiran 1})
 \end{aligned}$$

$$\gamma = \text{Berat jenis air pada suhu } 90^\circ\text{C, kg/m}^2$$

maka :

$$\begin{aligned}
 h_p &= \left[\frac{16,309 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 - 0,7149 \times 10^4 \text{ kg/m}^2}{965,2} \right] \\
 &= 161,563 \text{ m}
 \end{aligned}$$

⁸ Sularso, Tahoro, Haruo 1987, Pompa dan kompresor pemilihan dan pemeliharaan. Hal 96.

D. Head Statis

Head statis dirumuskan dalam bentuk :

$$H_{st} = H_{dd} - H_{sd}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} H_{dd} &= \text{Tinggi permukaan air pada drum ketel poros pompa, m} \\ &= 2,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{sd} &= \text{Tinggi permukaan air dearator ke poros pompa, m} \\ &= 3,8 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_{st} &= 2,6 - 3,8 \\ &= -1,2 \end{aligned}$$

E. Head Dinamis

Head dinamis dirumuskan dalam bentuk :

$$\begin{aligned} H_{dy} &= \frac{V^2}{2g} \\ &= \frac{(1,45 \text{ m/det})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/det}} \\ &= 0,107 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga head total yang direncanakan adalah :

$$\begin{aligned} H_t &= h_{is} + h_{dk} + H_p + H_{st} + H_{dy} \\ &= 0,361 + 0,755 + 161,563 - 1,2 + 0,107 \\ &= 161,586 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk mengatasi terjadinya kemungkinan yang tidak di inginkan dalam pengoperasiannya antara lain :

- Perubahan koefisien gesek pipa yang terkandung pada umur pipa.
- Perhitungan yang kurang teliti akibat pendekatan harga-harga dalam perhitungan kerugian head

Maka perlu penambahan faktor kerugian pengaman sebesar (10% - 25%).

Dalam perncanaan ini head ditambah total 10% dari total head, sehingga head pompa yang direncanakan menjadi :

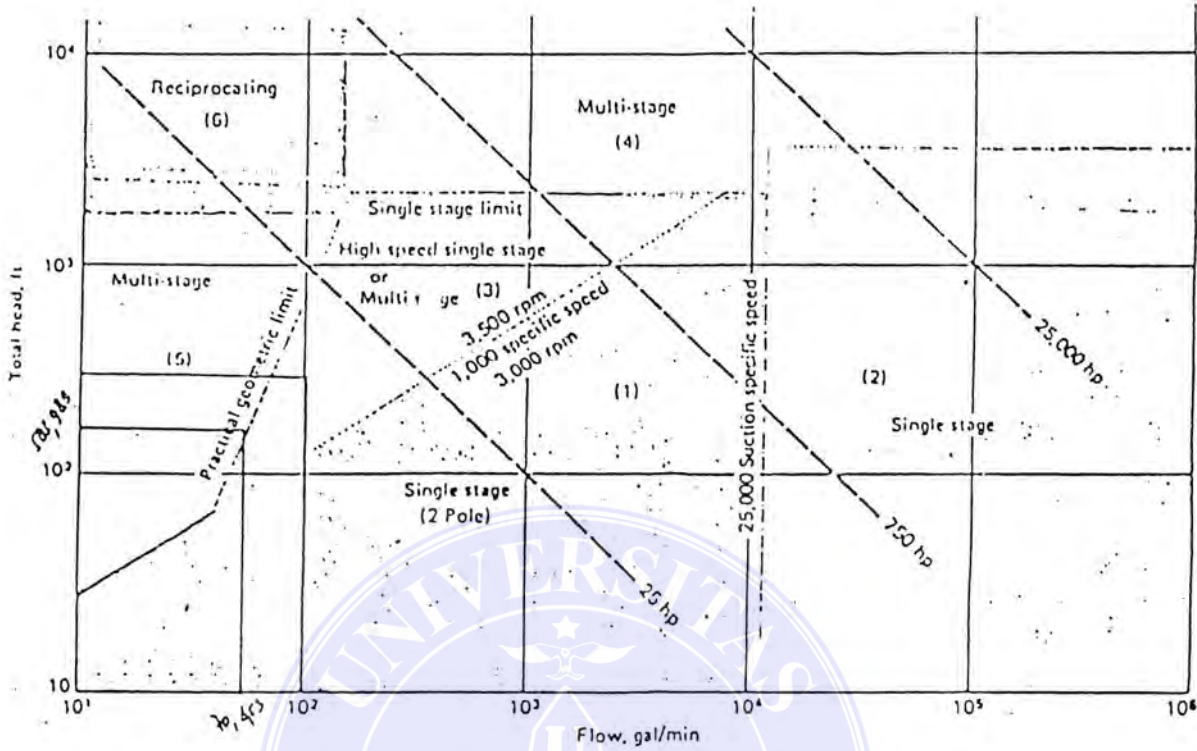
$$\begin{aligned} H_p &= 161,586 + (161,586 \times 10\%) \\ &= 178 \text{ m} \end{aligned}$$

F. Penentuan jenis pompa

Untuk memilih jenis pompa yang diinginkan dapat dipakai tabel dibawah ini dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Pompa yang di gunakan harus dapat menghasilkan kepastian dan head yang dibutuhkan.
- Kontruksi yang sederhana
- Biaya perawatan yang sekecil mungkin
- Tidak membutuhkan areal yang terlalu luas

Jadi dengan kapasitas $16 \text{ m}^3/\text{jam}$ (70,453 gal/min) dan head 178 m (583,989 ft), dimana $1 \text{ gal} = 3,785 \text{ liter}$ dan $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$. dari tabel di bawah ini terlihat, bahwa jenis pompa adalah sentrifugal bertingkat banyak.



Jenis pompa

G. Putaran Pompa

Pada perencanaan ini dipilih motor listrik sebagai penggerak mula karena operasinya mudah dikontrol, putaran yang dihasilkan konstan, pemeliharaan mudah bila dibandingkan dengan penggerak lain serta sumber arus listrik tersedia dengan baik. Oleh karena itu putaran harus dipilih dari putaran standart yang ada.

Adapun putaran standart engan frekuensi 50 Hz adalah seperti gambar berikut :

Jumlah kutub	2	4	6	8	10	12
Putaran Sinkron	3000	1500	1000	750	600	500

Putaran Sinkron Motor listrik

Karena motor induksi digunakan maka harus dikurangi (1% - 2%) dari putaran tersebut karena adanya slip.

Direncanakan faktor langsung dengan elektron adalah :

$$\begin{aligned} n &= 0,99 \times 3000 \text{ rpm} \\ &= 2970 \end{aligned}$$

II. Putaran Spesifik

Satu diantara pemakaian putaran spesifik adalah untuk mengklasifikasikan berbagai jenis pompa. Putaran spesifik didefinisikan sebagai putaran permenit dimana suatu impeller akan beroperasi agar dapat memberikan kapasitas 1 gpm dengan head 1 ft.

Secara matematis putaran spesifik menurut Karazick⁹ dituliskan dalam bentuk :

$$n_s = 51,65 \times n \times \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} n &= \text{Putaran pompa} \\ &= 2970 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \text{Kapasitas pompa, m}^3/\text{det} \\ &= 4,488 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= \text{Head pompa, m} \\ &= 178 \text{ m} \end{aligned}$$

maka :

$$n_s = 51,65 \times 2970 \times \left(\frac{4,488 \times 10^{-3} m^3 / det}{(178m)^{3/4}} \right)^{1/2}$$

$$= 210,881$$

Adapun batasan putaran spesifik untuk rumus diatas adalah sebagai berikut :

Jenis impeller	Putaran spesifik
Impeller jenis radial	500 – 3000
Impeller jenis Prancis	1500 - 4500
Impeller jenis aliran campuran	4500 – 8000
Impeller jenis propeler	8000

Pembagian jenis impeller

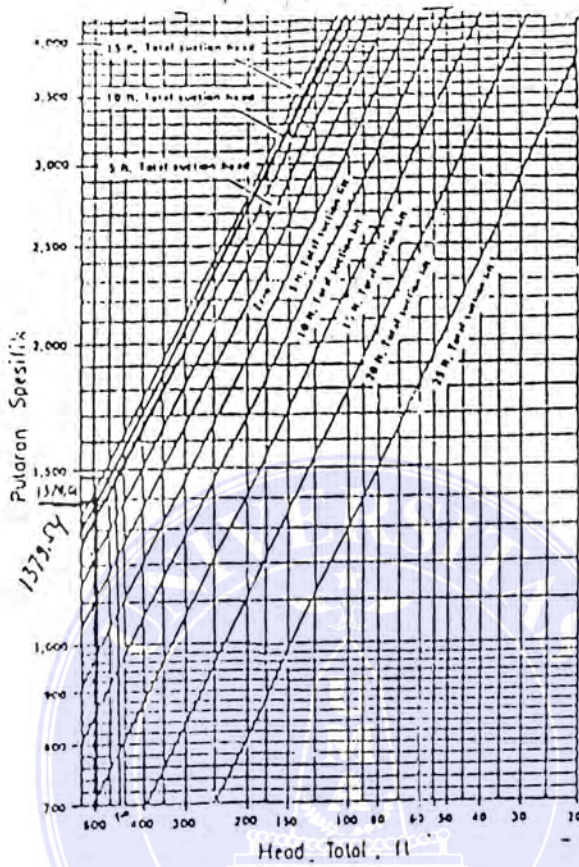
Dari rumus diatas dapat dilihat bahwa harga putaran spesifiknya tidak memenuhi kedalam batasan putaran spesifik impeller. Agar memenuhi batasan diatas maka impeller harus dibuat bertingkat.

Untuk menghitung tingkat, Khetagurov¹⁰ menuliskan :

$$i = \left[\frac{n_{si}}{n_s} \right]^{4/3}$$

Dimana :

N_{si} = Putaran spesifik bertingkat, rencana harganya dapat diperoleh dari tabel di bawah ini dengan mengetahui terlebih dahulu head pompa dan head total pip isap. Dimana head total pompa 178 m (583,989 ft) dan total head isap 3,8 m (12,5 ft).



Penentuan putaran spesifik

Dari tabel diatas harga putaran spesifik direncanakan adalah 1379,540. Maka

jumlah tingkat adalah :

$$i = \left[\frac{1379,540}{210,881} \right]^{4/3}$$

$$= 12,234$$

Ditetapkan jumlah tingkat dua belas, maka head peringkat adalah :

$$= \frac{\text{Head total pompa}}{\text{jumlah tingkat pompa}}$$

$$= \frac{178}{12}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Sehingga putaran spesifik peringkat sebenarnya adalah :

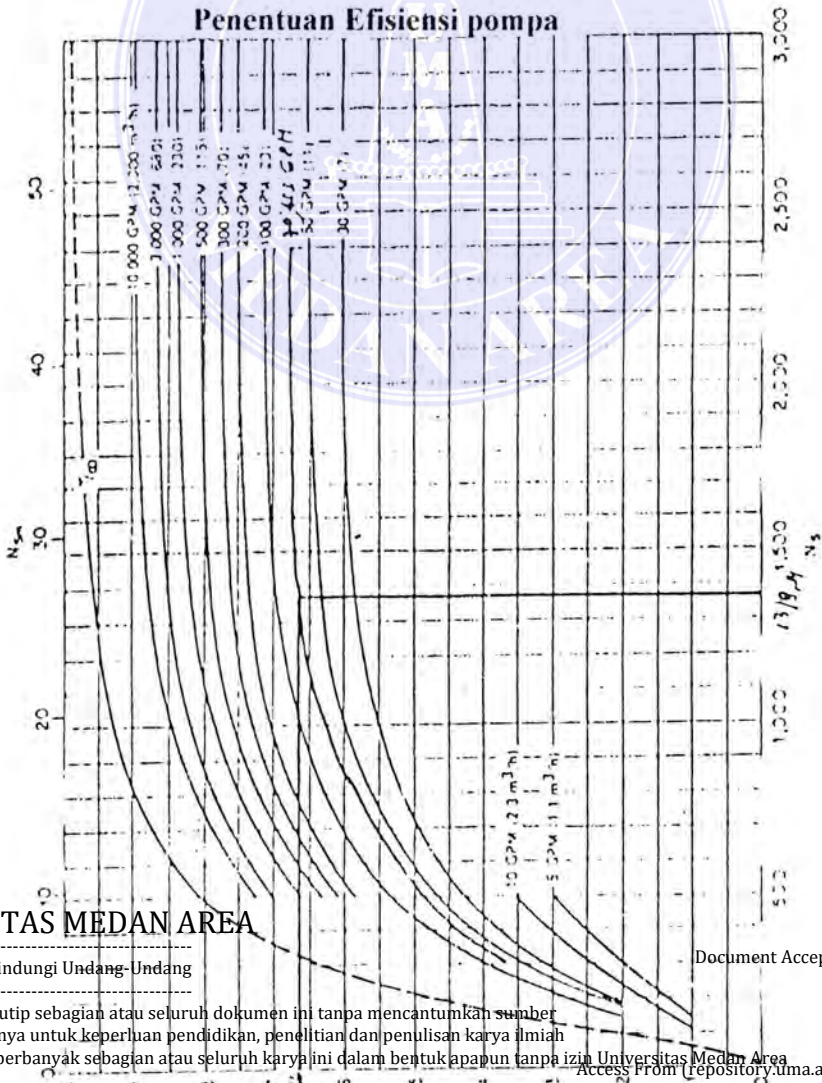
$$n_s = \frac{51,65 \times 2970(4,488 \times 10^{-3})^{1/2}}{(14,833)^{3/4}} = 1359,663$$

I. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa tergantung kepada beberapa faktor, yang terpenting adalah :

- ✓ Kerugian-kerugian Hidrolik (gesekan dan turbelensi)
- ✓ Kerugian Mekanis pada bantalan Packing
- ✓ Kerugian akibat kebocoran.

Efisiensi pompa tergantung kepada kapasitas, head dan putaran yang semuanya sudah termasuk dalam putaran spesifik seperti terlihat pada gambar berikut :



Dalam perencanaan ini direncanakan penggerak pompa dengan menggunakan motor listrik yang dikopel langsung dengan poros pompa. Besarnya daya pompa menurut Sularso¹¹ dituliskan dalam bentuk :

$$P_m = \frac{P_p (1 + \alpha)}{\eta_1}$$

Dimana :

P_m = Daya motor listrik, Hp

P_p = daya pompa, HP

α = faktor cadangan untuk motor induksi direncanakan 0,2

η_1 = Efisien transisi 1,0 untuk elektromotor yang dikopel langsung.

Jenis penggerak mula	α
Motor listrik	0,1 + 0,2
Motor bakar kecil	0,5 + 0,25
Motor bakar besar	0,1 + 0,2

Perbandingan cadangan

Maka :

$$\begin{aligned}
 P_m &= \frac{16 \text{ HP} (1 + 0,2)}{1,0} \\
 &= 19,2 \text{ HP} \\
 &= 19 \text{ HP (direncanakan)}
 \end{aligned}$$

K. Spesifikasi hasil perancangan

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka spesifikasi pompa ditulis sebagai berikut :

- ☐ Kapasitas pompa = 16 m³/det
- ☐ Head pompa = 178 m, H₂O
- ☐ Head pompa pertingkat = 14,8333 m
- ☐ Jumlah tingkat = 12 tingkat
- ☐ Putaran spesifik = 1359,663 Rpm
- ☐ Jenis Impeller = Radial
- ☐ Daya pompa = 16 HP
- ☐ Daya Elektromotor = 19 HP
- ☐ Diameter nominal pipa isap = 2,5 inci
- ☐ Diameter nominal pipa tekan = 2,5 inci
- ☐ Jumlah Katup = 2

BAB VII

PENUTUP

VII.A. Kesimpulan

Untuk dapat memenuhi air pengisian ketel yang akan menghasilkan uap panas lanjut kapasitas 13 ton/jam dengan tekanan 16 Bar, maka direncanakan pompa sentrifugal dengan hasil perancangan sebagai berikut :

VII.A.1. Penetapan spesifikasi

- Kapasitas pompa : 16 m³/jam ($4,488 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$)
- Kecepatan air dalam pipa : 1,454 m/det
- Kerugian head pada pipa isap
 - kerugian head akibat gesekan : 0,280 m
 - kerugian head karena belokan : 0,064 m
 - kerugian head katup gerbang : 0,017 m
- Total kerugian pada pipa isap : 0,361 m
- Kerugian head pada pipa tekan
 - kerugian head akibat gesekan : 0,417 m
 - kerugian head karena katup searah : 0,225 m
 - kerugian head katup gerbang : 0,017 m
 - kerugian head karena belokan : 0,096 m
- Total kerugian pada pipa tekan : 0,755 m
- Kerugian head karena perbedaan tekanan : 161,563 m
- UNIVERSITAS MEDAN AREA : -1,2 m

- Head dinamis : 0,107 m
- Head pompa : 178 m
- Putaran pompa : 2970 rpm
- Daya pompa : 16 HP
- Jumlah tingkat : 12 tingkat
- Head pertingkat : 14,833 m
- Jenis impeller : radial
- Daya elektromotor/50Hz : 19 HP
- Diameter nominal pipa isap : 2,5 inci
- Diameter nominal pipa tekan : 2,5 inci
- Putaran spesifik : 1359,663 rpm
- Jumlah katup : 2

VII.A.2.Ukuran - ukuran utama

- ❑ **Diameter poros** : 25 mm
- ❑ **Diameter hubungan impeller** : 35 mm
- ❑ **Diameter mata impeller** : 64 mm
- ❑ **Perencanaan impeller sisi masuk**
 - ◆ Diameter sisi masuk : 52 mm
 - ◆ Lebar impeller : 15 mm
 - ◆ Kecepatan tangensial keliling : 8,082 m/det
 - ◆ Sudut tangensial masuk : 14,897°
 - ◆ Kecepatan relatif : 8,363 m/det

□ **Perencanaan impeller sisi keluar**

- Diameter sisi keluar : 121 mm
- Lebar impeller sisi keluar : 7 mm
- Kecepatan tangensial : 18,807 m/det
- Sudut tangensial keluar : 14,822^o
- Sudut aliran keluar : 5,585^o
- Kecepatan absolut keluar : 19,094 m/det
- Kecepatan relatif : 7,05 m/det

□ **Perhitungan kecepatan akibat sirkulasi**

- ❖ Kecepatan radial sisi masuk : 2,15 m/det
- ❖ Kecepatan radial sisi keluar : 1,827 m/det
- ❖ Kecepatan tangensial keluar : 17,687 m/det
- ❖ Kecepatan absolut : 13,205 m/det
- ❖ Sudut tangensial keluar : 17,687^o
- ❖ Sudut aliran fluida keluar : 7,952^o

□ **Perencanaan sudu impeller**

- ◆ Jumlah sudu impeller : 5 impeller
- ◆ Jarak antar sudu sisi masuk impeller : 32,656 mm
- ◆ Jarak antar sudu sisi keluar impeller : 75,988 mm
- ◆ Tebal sudu sisi masuk impeller : 1,095 mm
- ◆ Tebal sudu sisi keluar impeller : 1,767 mm

□ **Perhitungan gaya dan putaran kritis**

- Berat poros pompa : 5,090 kg
- Berat impeller : 0,939 kg
- Berat 12 impeller : 11,268 kg
- Berat sudu : 0,023 kg
- Berat sudu + berat impeller : 1,162 kg

□ **Bantalan dan pasak**

- ❖ Perhitungan gaya aksial pada bantalan : 5,912 kg
- ❖ Perhitungan gaya radial pada bantalan : 9,508 kg
- ❖ Kapasitas nominal dinamik spesifik : 83,238 kg
- ❖ Nomor bantalan : 7304 A DB
- ❖ Lebar Pasak : 7 mm
- ❖ Panjang pasak : 40 mm
- ❖ Defleksi akibat gaya diantara bantalan A dan B : 0,651 mm
- ❖ Defleksi akibat beban terbagi rata di kiri bantalan A: $6,6143 \times 10^{-4}$ mm
- ❖ Defleksi akibat beban terbagi rata di kanan bantalan B: 0,00409 mm
- ❖ Defleksi total : 0,655mm
- ❖ Kecepatan sudut kritis poros : 1215,1145 rpm

VII.B. Saran

1. periksalah ruang pelumas sebelum jam operasi berjalan dan jangan sekali kali mengoperasikan pompa tanpa minyak pelumas. Karena apabila hal ini terjadi bahayanya bisa sangat fatal.
2. Sebelum proses pengikatan dilakukan pada rumah pompa, hal yang perlu diperhatikan adalah dengan membalance terlebih dahulu komponen yang berputar seperti hubungan impeller dengan poros dan juga pasak. Apabila kompanen ini tidak dibalance maka akan terjadi ketidakseimbangan pada poros yang mengakibatkan getaran. Hal ini akan mengurangi umur poros itu sendiri.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- ◆ Austin, H. Chure & Zulkifli Harahap. 1990. **Pompa Dan Blower Sentrifugal**. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- ◆ Dietzel, Fritz. 1988. **Turbin, Pompa Dan Kompresor**. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- ◆ Gere & Timoshenko, Hans J. Wosparik. 1987. **Mekanika Bahan**. Jakarta : Penerbit Erlangga
- ◆ Karazzik, Igor J. 1986. **Pump Hand Book**. New York : Mc. Garw Hill Internasiaonal Book Company
- ◆ Khetagurov M. 1972. **Marine Auxiliary And Machinery And System**. Moscow : Peace Publisher
- ◆ Robert L. Daugherty and Joseph B. Franzini. 1977. **Fluid Mechanic With Engineering Aplication**. New York : Mc. Graw – Hill Publishing Co. Ltd.
- ◆ Streerter L. Viktor. 1985. **Fluida Mechanic**. New York : Mc. Graw – Hill Internasiaonal Book Company
- ◆ Sularso, Tahoro, Haruo. 1987. **Pompa Dan Kompresor Pemulihan, Pemakaian Dan Pemeliharaan**. Jakarta : P.T. Pradnya Paramitha
- ◆ Sularso & Kiyokatsu Suga. 1983. **Dasar Perencanaan Dan Pemeliharaan Elemen Mesin**. Jakarta : P.T. Pradnya Paramitha
- ◆ Timoshenko S. 1989. **Dasar – Dasar perhitungan kekuatan bahan**. Jakarta :

Penerbit Rastu Agung Jakarta.
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)10/1/24