UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SKRIPSI

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 M^3/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15^0 C

NO PERSOALAN : TKM 541T/113/2007/EKST



Oleh :

Wawan Ari Wibowo
99/134067/TK/24799

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2007

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SKRIPSI

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 M^3/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15^0 C

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Program S-1
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta

Oleh :

Wawan Ari Wibowo
99/134067/TK/24799

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2007

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

HALAMAN PENGESAHAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mendapatkan gelar Sarjana pada Jurusan Teknik, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Disusun oleh:

Nama :Wawan Ari Wibowo

NIM : 99/134067/TK/24799

Telah disetujui untuk diuji:

Mengetahui,

Dosen Pembimbing,

31/8/07

Ir. Prajitno, M.T.
NIP. 130935061

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN TEKNIK INDUSTRI

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Wawan Ari Wibowo

Nomor Induk Mahasiswa : 99/134067/TK/24799

Nomor Persoalan : TKM 541T/113/2007/EKST

Mata Kuliah : Pompa Dan Kompresor

Perancangan Pompa Brine dengan kapasitas 125 m^3/jam, head total 17 m dan temperatur minimum – 15^0 C.

Yogyakarta, 29 Agustus 2007

Dosen Pembimbing,

Ir. Prajitno, M.T.
NIP. 130 935 061

Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 521673, 902181 Fax. (0274) 521673, 902180 Email:tk-mesin@ugm.ac.id

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

PERNYATAAN

Saya menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogjakarta, 29 Agustus 2007



Dibuat Oleh,

Wawan Ari Wibowo

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kupersembahkan kepada Ibu & Bapak
yang kasih sayangnya tak kan
lapuk dimakan waktu

Kepada Istriku TriBuana Indah Kurniawati tersayang
Yang selalu menyalakan lentera selagi aku dalam kegelapan
& selalu sabar dalam menghadapi sesuatu

Kepada Mbak Eny, dik Wiwik, dik Ninik, dik Yulia karena
kebersamaan dalam suka dan duka

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

KATA PENGANTAR

Alahamdulilllah, puja dan puji syukur kepada Alllah SWT yang selalu melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya tiada henti dan berlimpah kepada semua hamba-Nya. Rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya serta setulus-tulusnya penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian karya tulis ini, terlebih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Suhanan, DEA, Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Prajitno, M.T., selaku Dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan serta petunjuk selama penyusunan tugas akhir.
3. Sahabat saya Ir. Eko Prasetyo B, M.T., yang telah bersedia memberikan semangat dan membantu dalam kelancaran tugas akhir ini.
4. Teman-teman Dosen dan Staff D3 Teknik Mesin UGM yang telah bersedia meluangkan waktu dalam membantu kelancaran tugas akhir ini.
5. Bapak, Ibu, Istri tercinta, Kakak dan Adik-Adikkku yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman kerja PDAM Klaten yang selalu memotivasi untuk segera menyelesaikan tugas akhir.
7. Teman-teman seperjuangan Wiyadi, Nur Cholis dan Agung Susanto yang telah saling membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan, yang membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga segala bantuan yang diberikan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang memerlukan. Amien.

Yogyakarta, Agustus 2007

Penyusun,

WAWAN ARI WIBOWO

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Intisari Skripsi

Pompa adalah suatu alat yang mengkonversikan energi mekanik dari suatu penggerak menjadi energi fluida pada fluida yang melewatinya. Dalam kehidupan sehari-hari, pompa digunakan untuk berbagai keperluan diantaranya adalah mengalirkan cairan dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi, mengalirkan cairan dari tempat yang tekanannya lebih rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi, mengalirkan cairan menempuh suatu jarak tertentu, dan mensirkulasikan cairan.

Pompa yang direncanakan adalah jenis pompa sentrifugal satu tingkat jenis aliran radial dengan fluida brine, ethylene glikol. Pompa brine merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem pendinginan majemuk. Dalam perencanaan pompa ini memiliki kapasitas 125 m^3/jam, tinggi tekan 17 m dan temperature minimum – 15^0 C. Penggerak pompa ini menggunakan motor listrik dengan putaran 1470 rpm dan daya motor 11 kW atau 14,7 HP.

Dari hasil perhitungan di dapat jenis impeler tipe francis dengan kelengkungan ganda. Diameter masuk impeler (do) adalah 149 mm dan diameter luar impeler (d2) adalah 244 mm. Impeler berada dalam rumah pompa, rumah pompa ini mengubah energi kinetic menjadi energi tekan pada sisi keluar impeler. Fluida brine bersifat korosif sehingga bahan yang direncanakan harus tahan terhadap korosi.

Poros yang direncanakan adalah jenis poros bertingkat dengan diameter disesuaikan dengan diameter dari komponen pendukungnya, bantalan, shaft sleeve, kopling. Jenis bantalan yang digunakan adalah jenis bantalan bola dengan alur tunggal terbuka.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk aplikasi nantinya diharapakan Penulis dapat memilih suatu pompa sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan yang diinginkan berdasarkan parameter perancangan sehingga diperoleh efisiensi dan karakteristik pompa yang optimal.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ……...i

HALAMAN PENGESAHAN ……ii

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR ……...iii

PERNYATAAN ...……...iv

LEMBAR PERSEMBAHAN ……..v

KATA PENGANTAR ……....vi

INTISARI SKRIPSI ……...vii

DAFTAR ISI ……..ix

DAFTAR GAMBAR ……...xiv

DAFTAR TABEL ……...xvii

DAFTAR LAMPIRAN ……...xviii

DAFTAR SIMBOL ……..xix

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Pengertian Umum Tentang Pompa ……..1

1.2. Klasifikasi Pompa ……2

1.2.1. Pompa langkah positif ……..3

1.2.2. Pompa dinamik ……3

1.3. Latar Belakang Masalah ……...4

1.4. Koreksi Performansi Untuk Zat Cair ……...9

1.5. Pemilihan Jenis Pompa ……...11

1.6. Penggerak Pompa ……...12

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.7. Kecepatan Spesifik ……13

1.8. Perhitungan Daya ……...16

BAB II. PERENCANAAN IMPELER

2.1. Tipe Impeler ……...19

2.2. Impeler Kelengkungan Ganda ……20

2.3. Dimensi Impeler ……21

2.3.1. Ukuran diameter poros ……...21

2.3.2. Kecepatan pada sisi masuk impeler ……...22

2.3.3. Diameter mata sisi masuk impeler ……25

2.3.4. Lebar sisi masuk impeler ……32

2.3.5. Diameter sisi keluar impeler ……..33

2.3.6. Lebar sisi keluar impeler ……36

2.4. Metode Perancangan Impeler ……39

2.4.1. Garis alir A_1A_2 ……40

2.4.2. Garis alir B_1B_2 ……41

2.4.3. Garis alir C_1C_2 ……42

2.5. Koreksi Terhadap Besaran yang Diasumsikan ……...43

2.5.1. Koreksi terhadap koefisien konstraksi sisi masuk (φ_1) …..44

2.5.2. Koreksi terhadap faktor koreksi dari Pleiderer ……...45

2.5.3. Koreksi terhadap jumlah sudu yang diambil ……..46

2.5.4. Koreksi terhadap sudut β_2 ……...47

2.6. Segitiga Kecepatan ……48

2.6.1. Segitiga kecepatan pada sisi masuk ……...48

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.6.2. Segitiga kecepatan pada sisi keluar ……49

2.7. Desain Permukaan Sudu ……53

2.8. Pemeriksaan Terhadap Kekuatan Impeler ……..59

2.9. Ringkasan Hasil Perhitungan Impeler ……62

BAB III. PERENCANAAN SALURAN MASUK DAN RUMAH POMPA

3.1. Saluran Masuk ……64

3.1.1. Jenis saluran masuk ……64

3.1.2. Pemilihan dan perencanaan saluran masuk ……67

3.2. Rumah Pompa ……68

3.2.1. Jenis rumah pompa ……68

3.2.2. Recuperator tipe volut ……68

3.2.3. Perencanaan rumah volut ……...69

3.2.4. Perhitungan lebar inlet volut ……..77

3.2.5. Perhitungan ketebalan volut ……...78

BAB IV. PERENCANAAN POROS DAN KOMPONEN PENDUKUNG

4.1. Gaya Aksial ……80

4.1.1. Gaya aksial akibat perbedaan momentum fluida ……...80

4.2. Gaya Radial ……83

4.2.1. Gaya radial dinamis ……83

4.2.2. Gaya radial statis ……84

4.2.2.1. Berat impeler ……...84

4.2.2.2. Berat poros ……..92

4.3. Pemeriksaan Kekuatan Poros ……93

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.1. Momen lengkung ……93

4.3.2. Pengecekan tegangan geser ……97

4.3.3. Defleksi ……..98

4.3.3.1. Defleksi puntiran ……98

4.3.3.2. Defleksi lengkung ……101

4.3.4. Pengecekan tegangan akibat poros bertingkat ……101

4.3.5. Pengecekan tegangan pada alur pasak ……..104

4.3.6. Pengecekan terhadap putaran kritis ……..105

4.4. Perencanaan Pasak ……...107

4.4.1. Perencanaan pasak pengikat impeler ……107

4.4.2. Pasak untuk kopling ……110

4.5. Bantalan ……112

4.5.1. Bantalan dekat impeler ……113

4.5.2. Bantalan dekat kopling ……117

4.5.3. Pelumasan bantalan ……..117

4.6. Stuffing Box ……118

4.7. Selongsong Poros (Shaft Sleeve) ……120

4.8. Kopling ……121

4.8.1. Kekuatan kopling flens ……122

4.8.2. Kekuatan baut pengikat kopling flens ……..123

4.9. Impeler Nut ……..124

BAB V. EFISIENSI DAN KARAKTERISTIK

5.1. Efisiensi Pompa ……125

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.1. Efisiensi volumetris (ηv) ……..125

5.1.2. Efisiensi hidrolis ……...126

5.1.3. Efisiensi mekanis ……..127

5.1.4. Efisinesi total pompa ……131

5.2. Karakteristik Pompa ……131

5.2.1. Hubungan head dengan kapasitas pompa ……132

5.2.1.1. Head euler dengan kapasitas ……132

5.2.1.2. Head teoritis dengan kapasitas ……..133

5.2.1.3. Head aktual dengan kapasitas ……...134

5.3. Hubungan Daya Dengan Kapasitas Pompa ……..139

5.3.1. Daya fluida (FHP) ……140

5.3.2. Daya untuk mengatasi kebocoran (HPL) ……141

5.3.3. Daya untuk mengatasi kerugian hidrolis ……..141

5.3.4. Daya untuk mengatasi kerugian mekanis ……142

5.4. Hubungan Efisiensi Dengan kapasitas Pompa …….....144

BAB VI. PENUTUP

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Jenis-jenis pompa ……..2

Gambar 1.2. Diagram fase dari brine ……5

Gambar 1.3. Temperatur pembekuan dari ethylene glikol ……7

Gambar 1.4. Graviti spesifik dari ethylene glikol ……..8

Gambar 1.5. Viskositas dinamik dari ethylene glikol ……8

Gambar 1.6. Grafik penentuan jenis pompa berdasarkan kapasitas dan tinggi tekan …….11

Gambar 1.7. Efisiensi sebagai fungsi dari kecepatan spesifik dan kapasitas ……..17

Gambar 2.1. Ujung sisi masuk sudu yang tidak sejajar dengan sumbu poros ……20

Gambar 2.2. Efisiensi volumetrik sebagai fungsi kecepatan spesifik dan kapasitas ……...23

Gambar 2.3. Hubungan antara koefisien K_{cm1} dan K_{cm2} dengan kecepatan spesifik ……...24

Gambar 2.4. Bentuk impeler dengan kelengkungan ganda ……27

Gambar 2.5. Jarak lingkar sudu impeler pada sisi masuk ……29

Gambar 2.6. Hubungan antara kecepatan spesifik dengan β_2 ……34

Gambar 2.7. Penampang sudu impeler pada sisi keluar ……..37

Gambar 2.8. Impeler kelengkungan ganda ……..40

Gambar 2.9. Besar sudut λ'_1 ……44

Gambar 2.10. Diagram segitiga kecepatan pada sisi masuk ……..49

Gambar 2.11. Diagram segitiga kecepatan keluar ……53

Gambar 2.12. Sudut overlap suatu sudu ……53

Gambar 2.13. Metode point by point ……54

Gambar 2.14. Arah segitiga kecepatan pada sisi masuk dan keluar ……..56

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 2.15. Grafik hubungan antara dr dengan cm dan w ……57

Gambar 2.16. Grafik hubungan antara dr dengan cm dan w ……58

Gambar 2.17. Grafik hubungan antara dr dengan cm dan w ……59

Gambar 2.18. Penampang sudu impeler yang rawan terhadap tegangan geser ……61

Gambar 2.19. Penampang sudu impeler hasil perencanaan ……..63

Gambar 3.1. Saluran masuk lurus ……64

Gambar 3.2. Saluran masuk melengkung ……65

Gambar 3.3. Saluran masuk konsentrik ……...65

Gambar 3.4. Saluran masuk volut ……66

Gambar 3.5. Saluran masuk volut ……66

Gambar 3.6. Penampang volut ……69

Gambar 3.7. Posisi flens keluar pompa volut ……..69

Gambar 3.8. Grafik hubungan Kcv dengan kecepatan spesifik ……...70

Gambar 3.9. Gambar sebuah volut casing ……...71

Gambar 3.10. Grafik c_{thr}/u_2 terhadap kecepatan spesifik ……...73

Gambar 3.11. Grafik (A_{thr} / AII) terhadap n_s ……75

Gambar 3.12. Penampang laluan volut ……..77

Gambar 3.13. Tebal penampang recuperator ……78

Gambar 4.1. Impeler dengan cincin R_1 dan R_2 dengan lubang penyeimbangan O ……83

Gambar 4.2. Koefisien gaya radial, Kr sebagai fungsi Nsf dan kapasitas ……...84

Gambar 4.3. Profil impeler sisi samping dengan segmen-segmen pembaginya ……85

Gambar 4.4. Konstruksi poros yang direncanakan ……..92

Gambar 4.5. Gaya-gaya dan reaksi yang bekerja pada poros ……..93

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.6. Diagram momen lengkung (BMD) …….95

Gambar 4.7. Diagram gaya geser pada poros (SFD) ……...97

Gambar 4.8. Grafik penentuan faktor konsentrasi tegangan ……102

Gambar 4.9. Faktor konsentrasi tegangan akibat alur pasak ……104

Gambar 4.10. Macam-macam pasak ……..……..107

Gambar 4.11. Konstruksi stuffing box ……119

Gambar 4.12. Ukuran kopling flens ……121

Gambar 5.1. Grafik kerugian hidrolis terhadap kapasitas ……134

Gambar 5.2. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan rugi-rugi hidrolis ….137

Gambar 5.3. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan head pompa dalam (m) ……...139

Gambar 5.4. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan daya pompa dalam (HP) ……...143

Gambar 5.5. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan efisiensi pompa …...145

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Putaran sinkron motor listrik ……..12

Tabel 1.2. Profil impeler pemasukan tunggal berdasarkan kecepatan spesifik ……...15

Tabel 1.3. Faktor koreksi terhadap daya yang ditransmisikan ……18

Tabel 2.1. Koefisien K_{u2} 47

Tabel 2.2. Perhitungan garis stream line A_1A_2 56

Tabel 2.3. Perhitungan garis stream line B_1B_2 .....……..57

Tabel 2.4. Perhitungan garis stream line C_1C_2 ……58

Tabel 3.1. Perhitungan dimensi volut ……...76

Tabel 4.1. Harga koefisien eksperimental untuk berbagai harga N_{sq} ……...80

Tabel 4.2. Putaran kritis masing-masing elemen N_{ci} dan keseluruhan sistem N_{co} dalam rpm

…….....106

Tabel 4.3. Ukuran pasak dan alur pasak ……108

Tabel 4.4. Faktor V,X,Y,Xo dan Yo ……..114

Tabel 5.1. Hasil perhitungan friction and diffusion losses, shock losses dan head hidrolis pada berbagai variasi kapasitas pompa ……137

Tabel 5.2. Hasil perhitungan head euler, head teoritis dan head aktual pada berbagai variasi kapasitas pompa ……138

Tabel 5.3. Hasil perhitungan BHP pada berbagai kapasitas pompa ……..143

Tabel 5.4. Hasil perhitungan BHP pada berbagai kapasitas pompa ……..144

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram koreksi performansi untuk zat cair kental ……149

Lampiran 2. Standar mur dan baut ……..150

Lampiran 3. Ukuran Kopling Flens Luwes ……..151

Lampiran 4. Sifat kekuatan Besi Cor Kelabu ……..152

Lampiran 5. Sifat Bahan Perunggu Fosfor ……..153

Lampiran 6. Sifat Fisik Bronze ……...154

Lampiran 7. Ukuran Standart Flens ……155

Lampiran 8. Bahan Poros……..156

Lampiran 9. Tabel Pemilihan Ukuran Pasak ……..157

Lampiran 10. Pelumasan Bantalan Bola ……158

Lampiran 11. Pemilihan Daya Motor ……159

Lampiran 12 Pemilihan Bantalan Bola ……160

Lampiran 13 Sifat Bahan SUS 316 ……161

Lampiran 14 Gambar Pompa Brine Hasil Perancangan ……162

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR SIMBOL

Q : kapasitas aliran

Q' : kapasitas perencanaan

P : tekanan pompa

γ : berat jenis brine

g : percepatan gravitasi

H : head total pompa

T : temperatur fluida brine

n : putaran pompa

f : frekuensi jala-jala PLN

p : jumlah pasang kutub

η_{tot} : efisiensi total pompa

P_{sh} : daya input pompa

d_{sh} : diameter poros

τ_a : tegangan geser ijin poros

K_t : factor koreksi beban kejut

C_b : factor koreksi lengkungan

T : momen torsi

N_{sq} : kecepatan spesifik kinematik

N_{sp} : kecepatan spesifik dinamik

N_{sf} : kecepatan spesifik bilangan bentuk

n_s : kecepatan spesifik

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

S_{f1} : factor kelelahan puntir

S_{f2} : factor konsentrasi tegangan pada poros bertingkat

c_o : kecepatan aksial fluida

cm1 : kecepatan meridional pada sisi masuk

Kcm1 : koefisien kecepatan meridional pada sisi masuk impeler

Ao : luas penampang sisi masuk impeler

d_h : diameter hub bagian depan impeler

do : diameter mata sisi masuk impeler

d1A : diameter sisi masuk pada garis alir A_1A_2

u1A : kecepatan keliling pada garis alir A_1A_2

β1A : sudut sudu masuk pada garis alir A_1A_2

θ : sudut jatuh

β'1A : sudut kontraksi/kemiringan pada garis alir A_1A_2

t1 : jarak lingkar sisi masuk impeler

z : jumlah sudu

su1 : proyeksi tebal sudu pada arah keliling sisi masuk impeler

s1 : ketebalan sudu

θ : koefisien kontraksi

d1B : diameter sisi masuk pada garis alir B_1B_2

u1B : kecepatan keliling pada garis alir B_1B_2

d1C : diameter sisi masuk pada garis alir C_1C_2

u1C : kecepatan keliling pada garis alir C_1C_2

β1C : sudut sudu masuk pada garis alir C_1C_2

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

cm2 : kecepatan meridional pada sisi keluar impeler

H_{th} : head teoritis

ηh : efisiensi hidrolis

β2 : sudut sudu sisi keluar

u2 : kecepatan keliling pada sisi keluar impeler

d2 : diameter sisi keluar impeler

b2 : lebar sisi keluar impeler

A2 : luas penampang sisi keluar impeler

t2 : jarak lingkar sisi keluar impeler

s2 : tebal sudu pada sisi impeler

λ'1 : sudu antara ujung sisi masuk dengan garis alir

w1A : kecepatan factor pada sisi masuk pada garis alir A_1A_2

w1B : kecepatan factor pada sisi masuk pada garis alir B_1B_2

w1C : kecepatan factor pada sisi masuk pada garis alir C_1C_2

w2 : kecepatan factor pada sisi keluar impeler

θ : actor slip

cu2 : kecepatan factor pada saat fluida meninggalkan impeler

β'1 : sudut kontraksi pada sisi masuk impeler

σt : tegangan tarik bahan impeler

C : factor kesalahan beban

F : gaya geser akibat torsi

Shmin : tebal shroud minimum

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

θ	: tegangan geser yang terjadi pada bagian impeler yang rawan
τ’	: tegangan geser yang terjadi pada hub bagian depan
Ft	: gaya tangensial pada permukaan poros
τk	: tegangan geser yang terjadi pada pasak
τka	: tegangan geser yang diijinkan pada pasak
Ka	: koefisien eksperimental
Fa1	: gaya aksial
Fa	: gaya aksial total
Frd	: gaya radial dinamis
Vsh	: volume shroud
Vsr	: volume sirip
Vs	: volume sudu
wi	: berat total impeler
Frt	: gaya radial total
wp	: berat poros
M	: momen lengkung yang terbesar
Km	: faktor koreksi momen lengkung
τmax	: tegangan geser maksimum pada poros
y	: defleksi lengkung
θ	: defleksi puntiran
G	: modulus geser bahan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

J : inersia polar bahan

E : modulus young

Nc : putaran kritis

Lh : umur bantalan yang direncanakan

fh : faktor umur

p : faktor eksponen umur

Cr : kapasitas nominal beban dinamik

Pr : beban dinamik radial ekuivalen

fn : faktor kecepatan

C : kapasitas beban dinamis

τf : tegangan geser pada flens

Kf : faktor koreksi flens

τba : tegangan geser pada baut

nc : jumlah baut efektif

B : diameter pusat baut

d_b : diameter baut

t : kedalaman alur pasak pada poros

l : panjang pasak

ηv : efisiensi volumetrik

Q_L : kapasitas kebocoran

ηh : efisiensi hidrolis

ηm : efisiensi mekanis

p_{mf} : rugi-rugi gesekan mekanis

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pfb : daya yang hilang akibat gesekan bantalan

M1 : kerugian gesekan pada bantalan kiri

M2 : kerugian gesekan pada bantalan kanan

pfd : kerugian gesekan pada impeler

Hth_{∞} : head euler

K2cu : faktor sirkulasi

Hh : kerugian hidrolis selama pemompaan

hs : turbulensi loss

hfd : friction losses

d_3 : diameter tempat lidah volume terletak

Ksh : faktor percobaan

Qs : kapasitas tanpa shock losses

K3 : suatu konstanta

BHP : daya poros

FHP : daya fluida

HPL : daya untuk mengatasi kebocoran yang terjadi

HPH : daya untuk mengatasi kerugian hidrolis yang terjadi

HPM : daya untuk mengatasi kerugian mekanis yang terjadi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengertian Umum Tentang Pompa

Pompa merupakan peralatan mekanis yang dipakai untuk memindahkan fluida cair atau zat yang bersifat cair dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkkan tekanan fluida tersebut. Pompa akan memberikan energi mekanis pada fluida yang melaluinya, dan energi yang diterima fluida tersebut digunakan untuk menaikkan tekanan serta untuk melawan atau mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran fluida tersebut.

Untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi digunakan pompa. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengusahakan tekanan yang rendah pada sisi isap pompa dan tekanan yang tinggi pada sisi tekan pompa, sehingga pompa memerlukan penggerak mula agar energi mekanis yang diterima dapat diteruskan ke fluida kerja.

Perkembangan penduduk dan kemajuan dunia industri serat teknologi yang pesat mengakibatkan tuntutan penggunaan pompa yang semakin besar pula. Dalam kehidupan sehari-hari pompa digunakan untuk berbagai keperluan diantaranya :

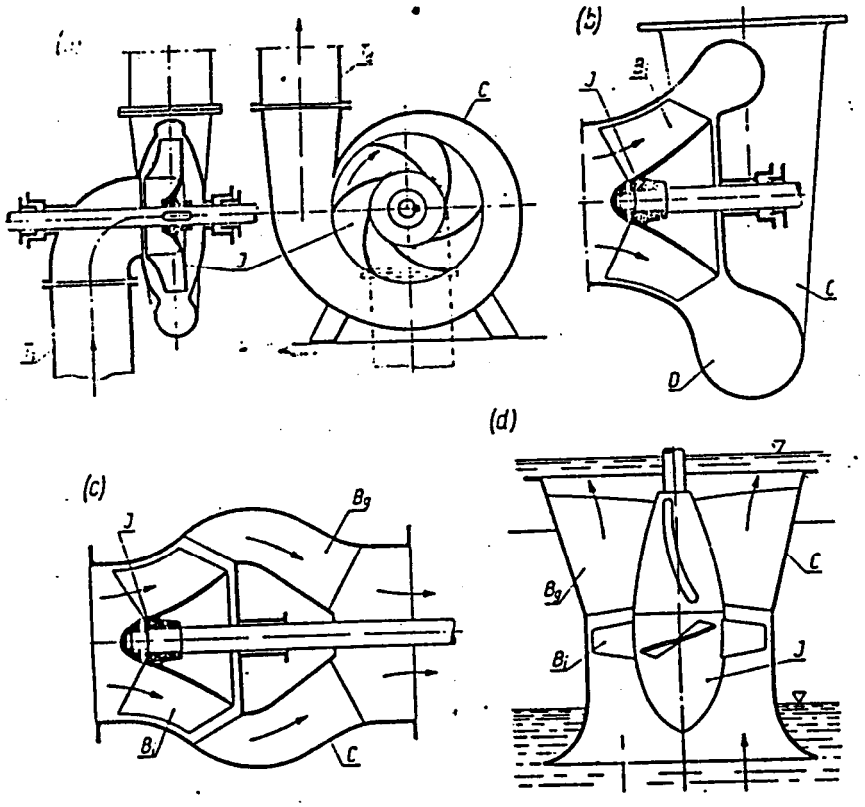
a. Mengalirkan cairan dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi.
b. Mengalirkan cairan dari tempat yang tekanannya lebih rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi.
c. Mengalirkan cairan menempuh suatu jarak tertentu.
d. Mensirkulasikan cairan.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.2 Klasifikasi Pompa

Berdasarkan cara pemberian energi ke fluidanya, pompa dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu :

1. Pompa langkah positif
2. Pompa dinamik.



Gambar 1.1. Jenis-jenis pompa: (a) pompa sentrifugal, (b) pompa helical

(c) pompa diagonal dan (d) pompa axial
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.2.1. Pompa langkah positif

Pompa jenis langkah positif ini bekerja dengan memanfaatkan gaya luar yang diberikan oleh penggerak untuk menambah energi secara periodik ke dalam silinder tertutup melalui penyekat batas yang dapat bergerak sepanjang sumbu geraknya. Adanya gaya yang diberikan melalui penyekat terhadap jumlah fluida terjebak di dalam silinder pompa tersebut mengakibatkan terjadinya kenaikan tekanan dan akhirnya fluida dipaksa keluar melalui lubang-lubang di sisi lain pada silinder.

Jenis pompa yang termasuk ke dalam jenis ini, diantaranya :

1. Pompa torak, bisa berupa pompa piston atau pompa plunyer
2. Pompa rotary, misalnya pompa roda gigi, pompa sekrup, pompa vane dan sebagainya.

1.2.2. Pompa dinamik

Pompa dinamik ini memindahkan energi pada sudu dengan dasar pembelokan atau mengubah arah aliran sehingga dalam pompa akan secara kontinyu menaikkan kecepatan fluida sampai harga tertentu. Kecepatan keluaran yang terjadi akan berkurang dengan demikian tekanan akan naik. Mekanisme pemompaan yang terjadi pada pompa dinamik disebabkan oleh adanya penambahan fluida akibat pembelokan arah fluida pada suatu komponen pompa dinamik.

Penambahan energi mekanis secara kontinyu menyebabkan terjadi kenaikan kecepatan fluida di dalam pompa. Kecepatan fluida pada saluran keluar berkurang akibat membesarnya laluan fluida. Penurunan kecepatan tersebut menyebabkan energi kinetik

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

fluida berubah menjadi energi tekan. Energi tekan yang terjadi selanjutnya akan memaksa fluida naik hingga mencapai ketinggian tertentu. Tinggi kenaikan fluida yang dapat ditimbulkan oleh sebuah pompa dinamik ditentukan oleh besar energi mekanik yang diberikan kepada fluida.

Agar proses pemompaan dapat berlangsung maka sebuah pompa dinamik memerlukan suatu penggerak. Penggerak yang dimaksud dapat berupa motor listrik atau motor bakar yang tergantung pada kondisi operasional.

1.3. Latar Belakang Masalah

Peningkatan keperluan akan temperatur yang rendah pada bidang industri, dalam hal ini pada proses pendinginan. Untuk memenuhinya diperlukan proses pendinginan dengan pendinginan sekunder atau *refrigerant* sekunder. Contoh penggunaan sistem pendinginan sekunder ini yaitu pada pembuatan es, sistem pendingin udara yang mempunyai kapasitas besar, pengawetan hasil pertanian, pengawetan daging atau ikan dll.

Pompa *brine* merupakan salah satu dari alat pada sistem pendingin sekunder yang berfungsi untuk memompa *refrigerant* sekunder. Sedangkan fungsi *refrigerant* sekunder sendiri untuk memindahkan atau menyerap temperatur rendah yang dihasilan dari *evaporator* ke alat penukar kalor dengan media air.

Refrigerant sekunder atau majemuk pada pompa *brine* dibedakan menjadi 3 macam (Robert H Perry, Don Green, 1984) :

1. Larutan dari garam anorganik seperti Sodium Kloride dan Kalsium Kloride.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Larutan dari komponen organik seperti alkohol atau glikol. Larutan air dengan konsentrasi bervariasi dari metanol, ethanol, ethylene glikol dan propelene glikol.
3. Klorinase & Flourinase hydrokarbon dan halokarbon.

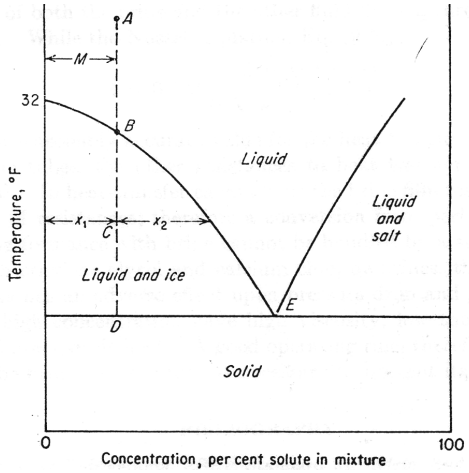
Dalam perencanaan ini, pompa yang direncanakan adalah pompa yang digunakan untuk memompa cairan atau *fluida brine* dengan kapasitas pemompaan Q = 125 m^3/jam, dengan tinggi tekan sebesar H = 17 m, dan temperatur minimun sebesar -15^{0}C.

Untuk memilih jenis fluida *brine* yang digunakan pada perencanaan ini diuraikan beberapa sifat-sifat atau karakteristik fluida kerja karena hal ini akan mempengaruhi performasi sebuah pompa. Sifat-sifat fluida *brine* antara lain :

a. Titik *Eutectic*

Suhu terendah pembekuan fluida *brine* pada konsentrasi tertentu. Titik *eutectic* ini dapat dipakai untuk mengetahui dalam perencanaan suhu terendah yang dikehendaki atau yang akan direncanakan dari cairan *brine*.

Diagram fase ini dari fluida *brine* dengan konsentrasi vs temperatur seperti di bawah ini :



Gambar 1.2. Diagram Fase dari brine
Sumber : C P Arora, 1983

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari diagram fase dapat diamati proses pembentukan es atau pembekuan dengan konsentrasi brine tertentu. Pada konsentrasi titik A, maka akan mulai terjadi titik temperatur kristalisasi atau *freezing point* pada t_B. Sedangkan titik *eutectik* terjadi apabila konsentrasi *brine* pada titik D. Konsentrasi ± 30% berat, $CaCl_2$ akan mencapai titik Eutectic sebesar ± -55^o C. Konsentrasi ± 20 % berat, Na Cl_2 akan mencapai titik Eutectic sebesar ± - 16,5^o C.

b. Keamanan

Sifat racun dan mudah terbakar dari fluida *brine* adalah faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Karena sifat racun dari sebagian cairan brine ini seperti Kalsium Kloride sehingga penggunaannya dihindari kemungkinan kontak langsung dari fluida *brine* dengan bahan makanan yang diawetkan. Sifat mudah terbakar pada cairan *brine* ini terdapat pada alkohol, sehingga diperlukan keamanan yang cukup pada sistem pendingin.

c. Konsentrasi larutan, berat jenis, spesifik gravitasi dan kalor jenis.

Berat jenis zat cair sangat berpengaruh pada daya yang diperlukan untuk menggerakkan pompa. Zat cair yang memiliki berat jenis yang lebih besar akan memerlukan daya pompa yang lebih besar pula, untuk head dan kapasitas yang sama.

Konsentrasi larutan atau kekentalan adalah suatu ukuran tahanan aliran fluida, atau dapat didefinisikan pula sebagai perbandingan tegangan geser atau gaya geser antara lapisan fluida yang didekatnya terhadap laju perubahan kecepatan yang tegak lurus

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

terhadap arah gerakan. Semakin besar konsentrasi larutan maka kerja pompa akan semakin berat pula.

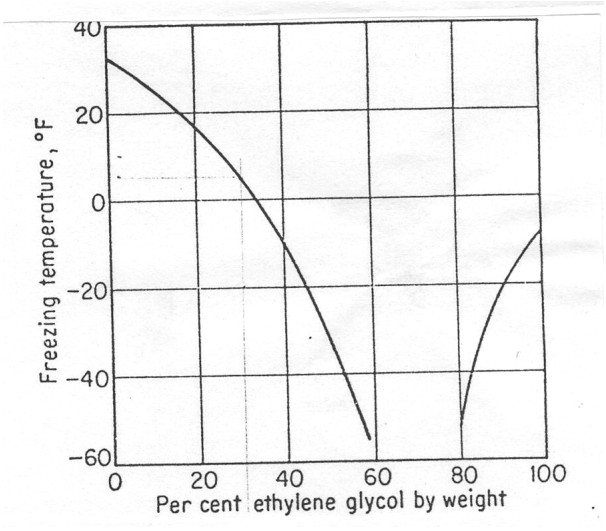
Spesifik grafitasi adalah perbandingan bobot suatu volume benda terhadap bobot air dengan volume yang sama. Spesifik grafitasi ini tidak bersatuan.

Kalor jenis adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur dari unit massa dari sebuah benda sebesar satu derajat.

d. Korosi

Komponen perpipaan dan pompa dibuat tahan korosi karena fluida *brine* bersifat korosi. Sifat korosi ini antara lain dari garam *brine, sodium kloride dan kalsium kloride.*

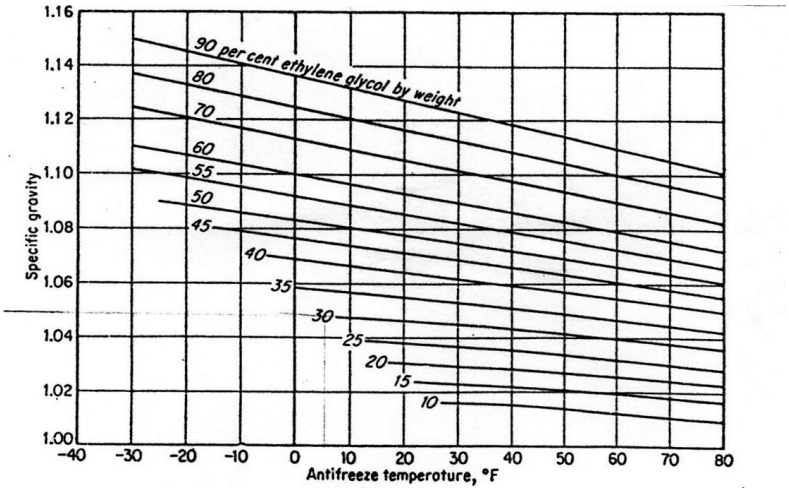
Pada perencanaan pompa *brine* ini dipilih fluida ethylen glikol. Contoh penggunaan pompa brine dengan fluida ethylen glikol ini untuk pembuatan es. Dari data temperatur perencanaan di atas dapat dicari sifat-sifat konsentrasi dan viskositas kinematis. Hubungan antara temperatur pembekuan dan konsentrasi dari ehtylene glikol dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 1.3. Temperatur pembekuan dari ethylene glikol
(Sumber : J DOSSAT, 1978)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

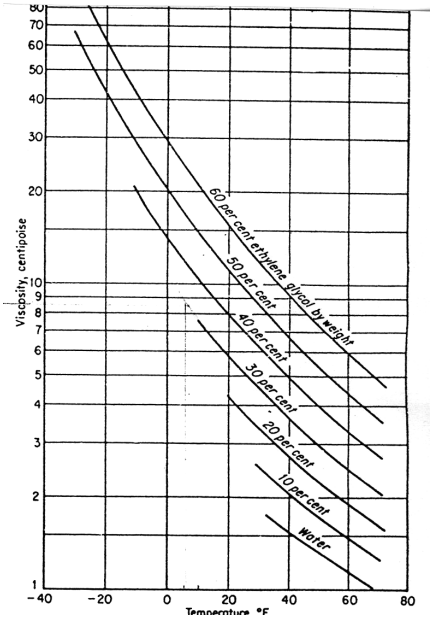
Dengan temperatur perencanaan -15^0 C atau 5^0 F, maka dari gambar 1.3. di atas didapat konsentrasi ethyle glikol sebesar 30 % berat.



Gambar 1.4. Graviti spesifik dari ethylene glikol
(Sumber : J DOSSAT, 1978)

Besarnya gravitasi spesifik dari ethyle glikol dicari berdasarkan grafik 1.4. dengan suhu perencanaan 5^0 F, maka dari grafik didapat harga graviti spesifik sebesar 1,05.10^3 kg/m^3.

Viskositas dinamik dari ethyle glikol ditentukan dari gambar di bawah ini.



Gambar 1.5. Viskositas dinamik dari ethyle glikol
(Sumber : J DOSSAT, 1978)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari gambar 1.5. di atas didapat besarnya viskositas dinamik sebesar 8,5 centipoise.

Besarnya viskositas kinematis dihitung dengan persamaan sebagai berikut : (Austin H. Church, 1986)

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{(centistoke)}$$

dengan :

μ = viskositas dinamik (centipoise)

ρ = berat jenis (gram/Cm^3)

maka,

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$= \frac{8,5}{1,05} = 8 \text{ Centistoke}$$

Untuk perencanaan selanjutnya menggunakan fluida ethyle glikol dan perencanaan bahan komponen pompa yang tahan terhadap korosi.

1.4. Koreksi Performansi Untuk Zat Cair

Pompa yang direncanakan ini dipakai untuk memompa zat cair yang mempunyai viskositas lebih tinggi dari pada air, maka performansi pompa akan menurun. Jadi apabila spesifikasi pompa telah ditentukan atas dasar zat cair yang akan dipompa, maka dalam pemilihan sebuah pompa perlu dicari spesifikasi yang sesuai untuk mengoperasikan pompa yang sama dengan air bersih. Menurut cara ini, kapasitas, head total pompa dan perbandingan reduksi C_Q, C_H, dan C_η dari efiasiensi pompa harus ditentukan lebih dahulu.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Hubungan antara spesifikasi-spesifikasi dapat diperoleh dari persamaan berikut :

(Sularso, 1983)

$$Q_0 = C_q.Q_w$$

$$H_0 = C_H.H_W$$

dengan :

Q = kapasitas (m^3/menit)

H = tinggi tekan total pompa (m)

Indeks 0 = zat cair kental Indeks w = air bersih

C_q = konstanta kapasitas C_H = konstanta tinggi tekan

Dari data pada fluida ethyle glikol dengan konsentrasi 30 %, viskositas kinematis v = 8.10^{-3} centistoke, kapasitas 125 m^3/jam atau 2,08 m^3/menit , H = 17 m. Kemudian dengan menggunakan grafik koreksi performansi untuk zat cair (terlampir) didapat besarnya C_Q dan C_H.

Pada keadaan di atas harga konstanta kapasitas, C_Q ternyata mendekati harga 1. Demikian juga untuk konstanta tinggi tekan, C_H mendekati harga 1. Keadaan ini menunjukkkan bahwa kekentalan dari ethylen glikol mendekati harga kekentalan air bersih.

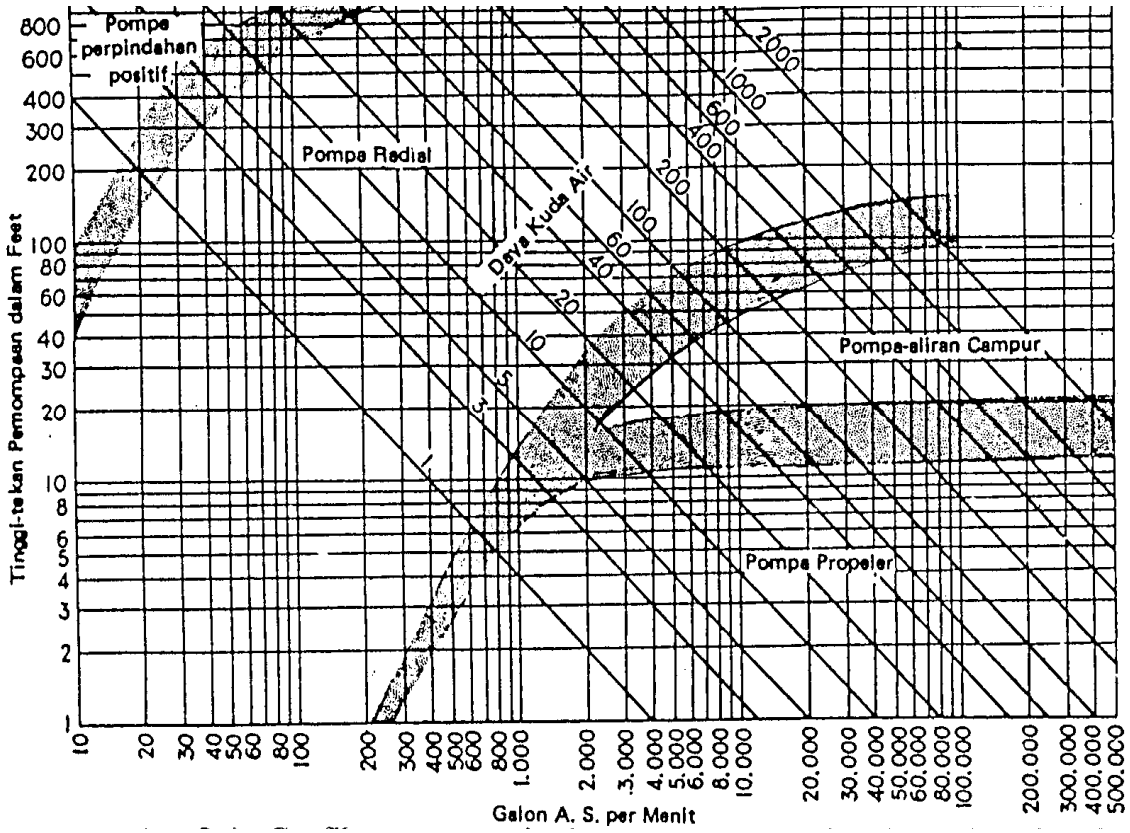
Untuk perencanaan lebih lanjut data kapasitas yang digunakan tetap Q = 125 m^3/jam, total head H = 17 m dan temperatur minimum adalah – 15^0 C.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.5. Pemilihan Jenis Pompa.

Secara teknis pemilihan jenis pompa didasarkan pada total head , kapasitas, karakteristik fluida dan kondisi lingkungan. Pemilihan jenis pompa yang dilakukan ini didasarkan pada kapasitas dan total head dapat dilihat pada gambar di bawah.

Dari data perencanaan kapasitas aliran Q = 125 m^3/jam =550,36 gpm dan total head sebesar H = 17 m = 55,77 feet. Dari grafik di bawah ditentukan jenis pompa yang direncanakan yaitu **pompa sentrifugal** aliran **radial** dengan **satu tingkat** operasi.



Gambar 1.6. : Grafik penentuan jenis pompa berdasarkan kapasitas dan tinggi Tekan
(Sumber : Church, 1986)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.6. Penggerak Pompa.

Berdasarkan pertimbangan keuntungan dan kemudahan dalam pengoperasian, maka dipilih motor listrik sebagai penggerak pompa. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik induksi.

Pertimbangan pemilihan motor listrik induksi adalah :

a. Cara pengoperasiannya lebih mudah.

b. Konstruksi lebih sederhana dan kompak.

c. Pemeliharaan mudah dan pengendalian dapat secara manual ataupun otomatis.

d. Getaran sangat kecil dan ringan.

Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik induksi, dengan jumlah kutub motor ditentukan dari tabel di bawah ini:

Tabel 1.1. Putaran sinkron motor listrik

Jumlah Kutub	**Putaran Sinkron (rpm)**
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500

(Sumber : Sularso, 1980)

Perencanaan ini menggunakan motor listrik dengan jumlah putaran sebesar 1500 rpm. Pada beban penuh kecepatan motor akan berkurang dikarenakan terjadinya slip, putaran motor diambil 1-2 % lebih kecil dari harga putaran yang digunakan maka kecepatan putaran motor menjadi :

$n = (1 – S).n_s$

$= (1 – 2\%). 1500 = 1470$ rpm

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1.7. Kecepatan spesifik.

Kecepatan spesifik merupakan istilah yang digunakan untuk memberikan klasifikasi impeler berdasarkan prestasi dan proporsinya, tanpa memperhatikan ukuran aktual dan kecepatan operasi impeler. Kecepatan spesifik yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan impeler terdiri dari tiga macam, yaitu kecepatan spesifik kinemetis, kecepatan spesifik dinamis dan kecepatan spesifik yang menyatakan bilangan bentuk.

Kecepatan spesifik kinematis didefinisikan sebagai kecepatan dalam putaran per menit pada waktu suatu impeler akan beroperasi bila secara proporsional ukurannya diperkecil agar dapat memberikan kapasitas teruji sebesar 1 m^3/s pada tinggi tekan total sebesar 1 m.

Kecepatan spesifik dapat dipakai untuk pemilihan jenis impeler pompa. Untuk kecepatan spesifik tertentu maka dapat dipilih impeler yang sesuai sehingga dapat beroperasi pada efisiensi yang optimal.

Persamaan kecepatan spesifik dipengaruhi oleh tiga faktor hidroulik yaitu : kecepatan putaran (n), kapasitas (Q) dan head total (h).

Persamaan kecepatan spesifik kinematis (Sumber : Imperler Pumps, Lazarkiewicz, p 106) :

$$n_{sq} = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

dengan : n = putaran poros (rpm).

H = head tiap tingkat (m).

Q = kapasitas aliran (m^3/s).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kecepatan spesifik dinamis didefinisikan sebagai kecepatan impeler dalam putaran per menit untuk mengangkut cairan setinggi 1 meter dengan daya yang diperlukan sebesar 1 HP dan mempunyai debit pemompaan 0,075 m^3/s.

Rumus kecepatan spesifik dinamis (Lazarkiewicz, 1965) :

$$n_{sp} = n \cdot \sqrt{\frac{\gamma . Q}{75 . H^{3/2}}}$$

dengan :

γ = berat jenis cairan yang dipompakan (kg/m^3)

Q = debit pompa (m^3/s)

n = putaran poros pompa (rpm)

H = head total pompa (m)

Kecepatan spesifik yang menyatakan sebagai bilangan bentuk (*shape number*) dinyatakan dengan rumus : (Lazarkiewicz, 1965)

$$n_{sf} = \frac{1000 . n . \sqrt{Q}}{60 . (g . H)^{0.75}}$$

Perencanaan pompa ini mempunyai kapasitas aliran 125 m^3/jam, total tinggi tekan 17 m, dengan percepatan grafitasi (g) 9,81 m/s^2, berat jenis cairan (γ) adalah$1{,}05.10^3$ kg/m^3 dan putaran motor yang digunakan (n) 1470 rpm.

Dengan data-data diatas dapat dihitung besarnya kecepatan spesifik-kecepatan spesifik pada perencanaan ini.

1). Kecepatan spesifik kinematik (n_{sQ}) :

$$n_{sq} = \frac{1470 \sqrt{125/3600}}{17^{0,75}}$$

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$= 32,7$

2). Kecepatan spesifik dinamis (n_{sp}) :

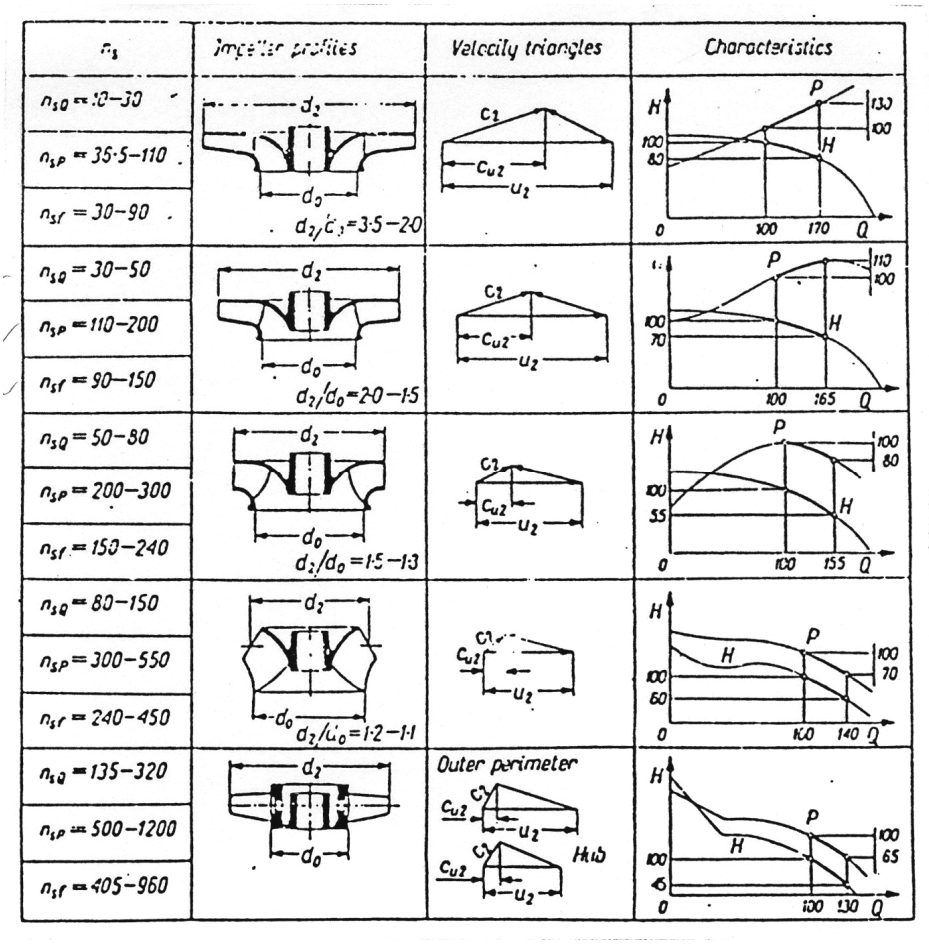
$$n_{sp} = 1470.\sqrt{\frac{1050x0,035}{75x17^{3/2}}} = 122,9$$

3) Kecepatan spesifik yang menyatakan bilangan bentuk :

$$n_{sf} = \frac{1000x1470x\sqrt{0,035}}{60x(9,81x17)^{0,75}}$$

$= 98,77$

Tabel 1.2. Profil Impeler pemasukan tunggal berdasarkan kecepatan spesifik



(Sumber : Lazarkiewics, 1965)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel di atas memperlihatkan bentuk relatif impeler jika dihubungkan dengan kecepatan spesifik. Berdasarkan hitungan kecepatan spesifik yang diperoleh di atas, besarnya n_{sq} = 32,7 n_{sp} = 122,9 dan n_{sf} = 98,77, maka bentuk impeller dapat ditentukan.

1.8. Perhitungan Daya

Daya air adalah energi efektif yang diterima air per satuan waktu, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (Stephen Lazarkiewicz, 1965)

$$P_e = \frac{\gamma.Q.H}{75} \quad \text{hp}$$

dengan :

γ = berat jenis (kg/m^3)

Q = kapasitas aliran (m^3/dtk)

H = total head (m)

Data perancangan Q = 0,035 m^3/s, H = 17 m, γ = 1050 kg/m^3

maka dapat dihitung besarnya daya input pompa adalah:

$$P_e = \frac{1050x0{,}035x17}{75}$$

= 8,33 H.P = 6,2 kW

Besarnya daya poros yang digunakan untuk menggerakkan pompa dihitung dengan rumus :

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$P_{sh} = \frac{P_e}{\eta}$$

dengan :

P_e = daya air efektif (hp)

η = efisiensi overal pompa

Efisiensi overal pompa ditentukan dari grafik dengan dasar kecepatan spesifik dan kapasitas dari pompa. Besarnya kecepatan spesifik dihitung dengan persamaan:

$$n_s = \frac{nx\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

dengan:

n = putaran pompa

Q = kapasitas pemompaan

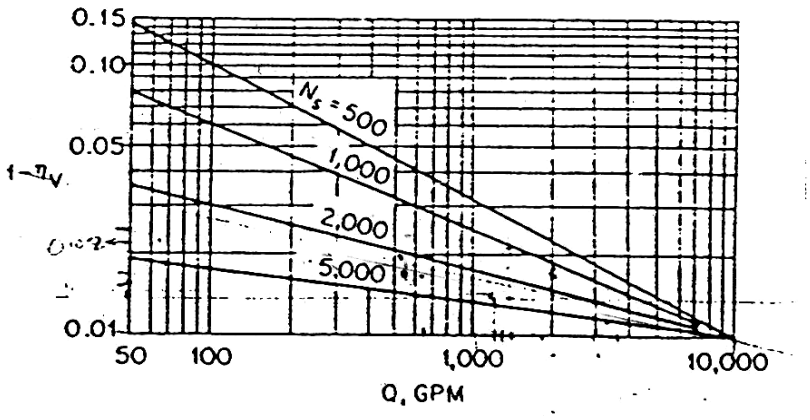
H = head total

untuk n = 1470 rpm, Q = 550,36 gpm dan H = 55,77 feet

maka:

$$n_s = \frac{1470x\sqrt{550,36}}{55,77^{3/4}} = 1689,8$$

Efisiensi overal pompa dapat dicari dengan menggunakan gambar efisiensi sebagai fungsi kecepatan spesifik dan kapasitas.



UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 1.7. Efisiensi sebagai fungsi dari kecepatan spesifik dan kapasitas
(Sumber : Karasik, 1976)

Untuk kapasitas Q = 550,36 gpm dan n_s = 1689,8 maka besarnya efisiensi overal pompa sebesar η = 78 %, sehingga besarnya daya poros:

$$P_{sh} = \frac{P_e}{\eta}$$

$$= \frac{6,2}{78\%}$$

$$= 7,9 \text{ kW}$$

Daya poros di atas harus dikoreksi dengan faktor keamanan dari penggerak pompa yang besarnya, sebagai berikut:

Tabel. 1.3. Faktor koreksi terhadap daya yang ditransmisikan

No	**Daya Yang Ditransmisikan**	**f_c**
1	Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
2	Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
3	Daya normal	1,0 – 1,3

(Sumber : Sularso, 1980)

Dari tabel diambil harga faktor keamanan f_c = 1,1 maka harga daya poros penggerak menjadi :

$$P_{sh} = f_c \text{ x } P_{sh}$$

$$= 1,1 \text{ x } 7,9$$

$$= 8,69 \text{ kW}$$

$$= 11,65 \text{ HP}$$

Dari hasil hitungan di atas dipilih daya motor yang ada dipasaran yaitu sebesar 11 kW dan putaran n = 1470 rpm.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II

PERENCANAAN IMPELER

Bagian utama dari pompa sentrifugal adalah impeler. Fungsi dari impeler ialah untuk menaikkan kecepatan serta tekanan dinamis fluida yang dialirkan. Bentuk, ukuran dan jumlah sudu impeler sangat berpengaruh terhadap head dan kapasitas yang dihasilkan oleh pompa. Selain itu perlu disesuikan dengan fluida yang akan dialirkan serta pencapaian efisiensi yang optimum.

2.1 Tipe Impeler

Tipe impeler dipilih berdasarkan kecepatan spesifiknya (n_s). Hal ini dimaksudkan agar dicapai efisiensi yang optimum dan bentuk impeller yang sesuai. Jenis impeler berdasarkan besarnya kecepatan spesifik dinamis (n_{sf}) dibedakan menjadi 5 : (Stephen Lazarkiewics, 1965)

1. Impeler aliran radial dengan kecepatan spesifik dinamis rendah, $n_{sf} = 30 – 90$
2. Impeler tipe Francis dengan kecepatan spesifik dinamis sedang, $n_{sf} = 90 – 150$
3. Impeler tipe Francis dengan kecepatan spesifik dinamis tinggi, $n_{sf} = 150 – 240$
4. Impeler aliran diagonal, helikal dan diagonal dengan kecepatan spesifik dinamis tinggi, $n_{sf} = 120 – 450$
5. Impeler aliran aksial, dengan kecepatan spesifik dinamis tinggi, $n_{sf} = 450 - 640$

Hasil hitungan terdahulu diperoleh besarnya kecepatan spesifik :

1. Kecepatan spesifik kinematik, $n_{sq} = 32,7$
2. Kecepatan spesifik dinamis, $n_{sf} = 98,77$
3. Kecepatan spesifik yang menyatakan bilangan bentuk, $n_{sp} = 122,9$

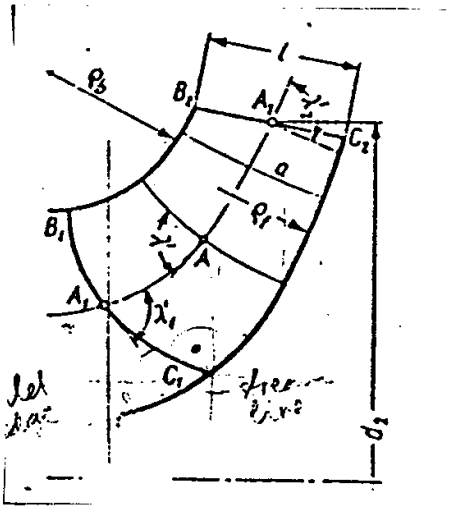
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dengan memperhatikan harga kecepatan spesifik dinamis, n_{sf} = 98,77 diperoleh jenis impeler ke dua yaitu impeler tipe Francis.

2.2 Impeler Kelengkungan Ganda

Penentukan jenis kelengkungan impeler ditentukan dari besarnya harga kecepatan spesifik (n_s). Untuk jenis kelengkungan tunggal batas kecepatan spesifiknya, $n_{sq} < 30$ dan $n_{sf} < 90$. Hasil perhitungan di depan didapat harga kecepatan spesik n_{sq} = 32,7 dan n_{sf} = 98,77 maka dapat ditentukan jenis kelengkungan impeler adalah **kelengkungan ganda**.

Dengan kenaikan harga kecepatan spesifik, perbandingan diameter luar impeler (d_2) terhadap diameter masuk mata impeler (d_0) akan semakin kecil. Maka untuk sudu yang sisi masuknya sejajar terhadap sumbu putar akan mempunyai ukuran lebih pendek.



Gambar 2.1. Ujung sisi masuk sudu yang tidak sejajar dengan sumbu poros
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3. Dimensi Impeler

2.3.1 Ukuran Diameter Poros

Sebelum ukuran-ukuran impeler dapat dihitung, maka terlebih dahulu harus ditetapkan ukuran poros terlebih dahulu. Poros tersebut harus cukup ukurannya untuk dapat menahan momen torsi dan momen lengkung yang terjadi akibat pembebanan. Disamping itu harus diusahakan agar kecepatan operasinya jauh dari putaran kritis poros. Untuk perhitungan awal, diasumsikan hanya torsi (momen puntir) yang bekerja pada poros, sehingga diameter poros dapat dihitung dengan rumus : (Sularso, 1980)

$$d_p = \left[\frac{5,1}{\tau a} . \text{Kt. Cb. T} \right]^{1/3}$$

dengan : d_p = diameter poros (mm)

τ_a = tegangan geser yang diijinkan (kg/mm^2)

Kt = faktor kontraksi bila terjadi tumbukan (= 1,2)

Cb = faktor kontraksi bila terjadi lenturan (= 1,5)

Besarnya momen puntir : (Sularso, 1980)

$$T = 9,74.10^5 . \frac{P}{n} \qquad (\text{kg.mm})$$

Dengan data perencanaan :

Daya, P = 11 kW dan putaran, n = 1470 rpm

sehingga dapat dihitung besarnya momen puntir:

$$T = 9,74.10^5 \text{ x } \frac{11}{1470}$$

$$= 7288,4 \text{ kg.mm}$$

Dengan mengingat fluida kerja bersifat korosi terhadap poros, maka bahan poros

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang dipilih harus tahan terhadap korosi. Bahan poros dipilih SUS 316 dan dari JIS G 4304 didapat kekuatan tarik, $\sigma_B = 53$ kg/mm^2.

Tegangan geser yang diijinkan dapat dicari dengan rumus : (Sularso, 1980)

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_{f1}.S_{f2}}$$

dengan: S_{f1} = faktor keamanan untuk kelelahan puntir, diambil 6

S_{f2} = faktor keamanan untuk konsentrasi tegangan pada alur pasak dan poros bertangga, diambil 2

sehingga besarnya tegangan geser yang diijinkan:

$$\tau_a = \frac{53}{6x2} = 4{,}417 \text{ kg/mm}^2$$

Maka besarnya diameter poros adalah:

$$d_p = \left(\frac{5{,}1}{4{,}417} \text{ x } 1{,}2 \text{ x } 1{,}5 \text{ x } 7288{,}4 \right)^{1/3}$$

$= 24{,}7$ mm

Untuk mengatasi tegangan lengkung karena berat impeller dan berat poros itu sendiri, serta untuk menjaga kondisi operasi terhadap putaran kritis, maka diameter poros diambil 30 mm atau 3 Cm.

2.3.2 Kecepatan Pada Sisi Masuk Impeler

Pada saat impeler berputar untuk mengalirkan cairan, sebagian dari cairan akan kembali atau bocor ke arah sisi hisap. Jadi jumlah aliran total melalui impeler adalah jumlah aliran yang dikeluarkan dari pompa ditambah jumlah kebocoran. Kerugian akibat

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kebocoran ini biasanya diperkirakan 2 – 5 % dari kapasitas pompa. Besarnya prosentasi kebocoran ini ditentukan berdasarkan harga kecepatan spesifik : (Igor karasik, 1976)

$$n_s = \frac{n.\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

dengan :

n = putaran (rpm)

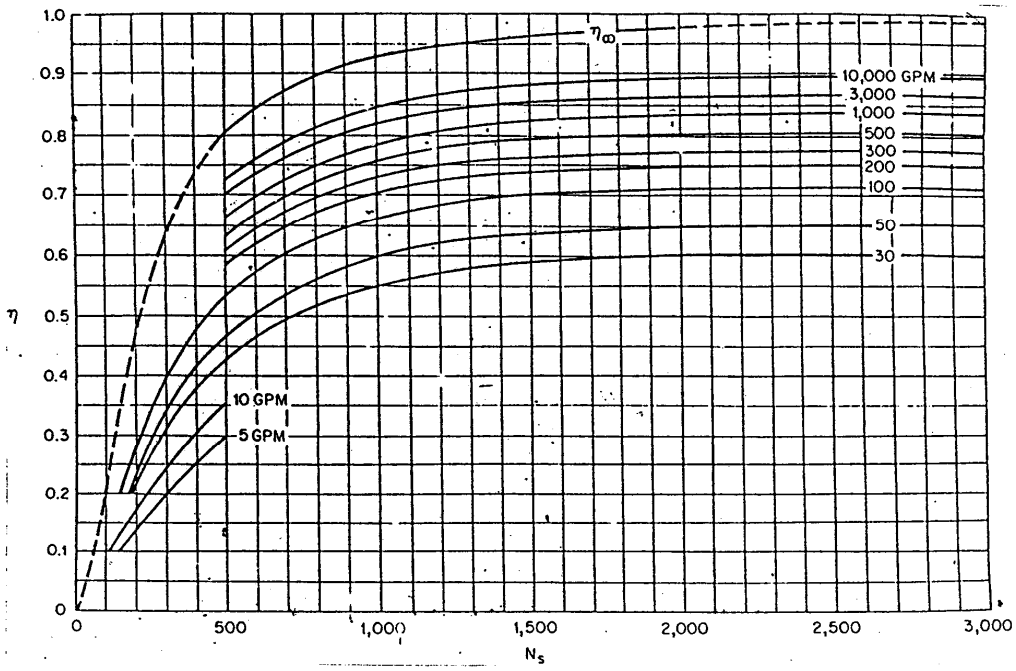
Q = kapasitas pompa (gpm)

H = total head (feet)

untuk n = 1470 rpm, Q = 550,36 gpm dan H = 55,77 feet , maka :

$$n_s = \frac{1470x\sqrt{550,36}}{55,77^{3/4}} = 1689,8$$

Untuk menentukan efisiensi volumetris dari aliran pompa ditentukan dengan grafik sbb :



Gambar 2.2. Efisiensi volumetrik sebagai fungsi kecepatan spesifik dan kapasitas
(Sumber : Igor Karassik,1976)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari harga Q = 550,36 gpm dan n_s = 1689,8 didapat efisiensi volumetrik :

$1 - \eta_v = 0,02$

$\eta_v = 98\ \%$

Maka jumlah aliran total di dalam impeler adalah :

$$Q' = \frac{Q}{\eta_v}$$

$$= \frac{0,035}{0,98} \qquad = 0,0357\ m^3/s$$

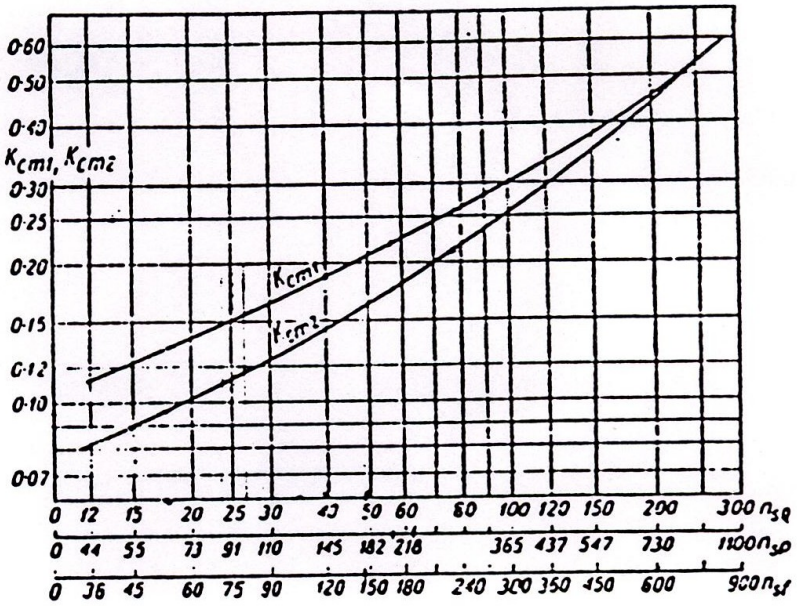
Besarnya harga kecepatan aksial dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$c_o = (0,95 – 1).c_{m1}$

dengan harga c_{m1} ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$c_{m1} = K_{cm1}.\sqrt{2.g.H}$$

dengan, Kcm1 = koefisien kecepatan yang dapat diambil dari gambar di bawah :



Gambar 2.3 Hubungan antara koefisien K_{cm1} dan K_{cm2} dengan kecepatan spesifik.
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk n_{sq} = 32,7 diperoleh harga K_{cm1} = 0,17, sehingga dapat dihitung harga c_{m1} :

$C_{m1} = 0,17 \times \sqrt{2x9,81x17}$

$= 3,1$ m/s

Karena adanya gangguan putaran poros terhadap cairan maka kecepatan pada sisi masuk (Co) sedikit lebih kecil dari Cm :

$Co = (0,95 – 1) \times C_{m1}$

Diasumsikan harga $Co = 0,98.C_{m1}$, maka :

$Co = 0,98 \times 3,1$

$= 3$ m/s

2.3.3 Diameter Mata Sisi Masuk Impeler

Luasan bebas (Ao) pada sisi masuk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Ao = \frac{Q'}{Co}$$

Jumlah aliran total Q’ = 0,0357 m^3/s dan Co = 3 m/s, maka :

$$Ao = \frac{0,0357}{3}$$

$= 0,0119\ m^2$

Diameter hub bagian depan impeler ditentukan dengan menggunakan rumus sbb :

$dh = (1,3 – 1,4). d_p$

dengan :

d_p = diameter poros (mm)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk pompa yang direncanakan faktor pengali diasumsikan 1,3 dan dia meter poros d_p = 30 mm, maka :

dh = 1,3 x 30

= 39 mm

Diameter hub bagian belakang impeler ditentukan dengan menggunakan rumus sbb :

dh' = (1,35 – 1,5). d_p

untuk d_p = 30 mm dan faktor pengali 1,4, maka :

dh' = 1,4 x 30

= 42 mm

Luas penampang sisi masuk total (Ao') pada sisi masuk impeler adalah luas penampang bebas mata sisi masuk (Ao) ditambah luas penampang hub (A).

Besarnya luas penampang hub dihitung dengan rumus :

$$A_h = \frac{\pi . dh^2}{4}$$

$$= \frac{\pi . 39^2}{4}$$

$$= 1{,}19.10^{-3}\ m^2$$

sehingga luas penampang masuk total :

$A_o' = A_o + A_h$

$= 0{,}0119 + 1{,}19.10^{-3}$

$= 0{,}013\ m^2$

Diameter mata sisi masuk impeler (d_o) ditentukan dengan menggunakan persamaan :

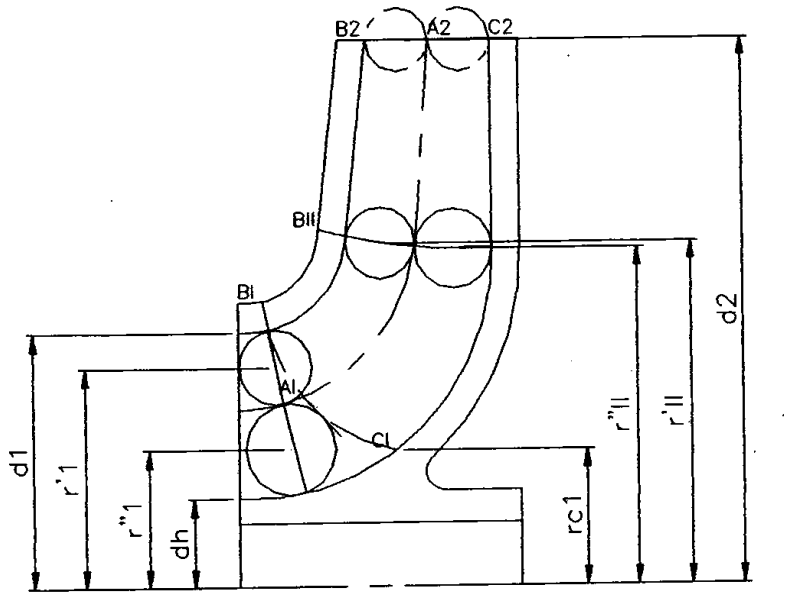
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$d_o = \sqrt{\frac{4.Ao'}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4.0{,}013}{\pi}}$$

= 0,129 m

= 129 mm



Gambar 2.4. Bentuk impeler dengan kelengkungan ganda
(Sumber : Lazarkiewics, 1965)

Garis alir A1A2

Diameter sisi masuk garis alir A_1A_2 dapat dihitung dengan persamaan :

$$d_{1A} = \sqrt{\frac{\left(d_0^2 + d_h^2\right)}{2}}$$

dengan :

d_0 = diameter masuk impeler (mm)

d_h = diameter hub impeler (mm)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

untuk d_0 = 129 mm dan d_h = 39 mm

maka :

$$d_{1A} = \sqrt{\frac{\left(129^2 + 39^2\right)}{2}}$$

$$= 95 \text{ mm}$$

Kecepatan keliling pada garis A1A2 dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$u_{1A} = \frac{\pi . d_{1A} . n}{60}$$

dengan :

d_{1A} = diameter sisi masuk garis alir A1A2

n = putaran motor

untuk d_{1A} = 95 mm dan n = 1470 rpm

maka :

$$u_{1A} = \frac{\pi . 95.10^{-3} . 1470}{60}$$

$$= 7{,}31 \text{ m/det}$$

Fluida masuk ke dalam pompa secara radial, sehingga $\alpha_0 = 90^0$. Sudut sudu masuk/sudut jatuh (*inklinasi*) pada titik A1A2 dapat dihitung dengan persamaan :

(Stephen Lazarkiwieks, 1965)

$$\tan \beta_{1A} = \frac{c_{m1}}{u_{1A}}$$

dengan :

c_{m1} = kecepatan meridional sisi masuk (m/det)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

u_{1A} = kecepatan keliling pada garis A1A2 (m/det)

untuk c_{m1} = 3,1 m/det dan u_{1A} = 7,31 m/det,

maka :

$$\beta_{1A} = \text{arc tan } \frac{3{,}1}{7{,}31}$$

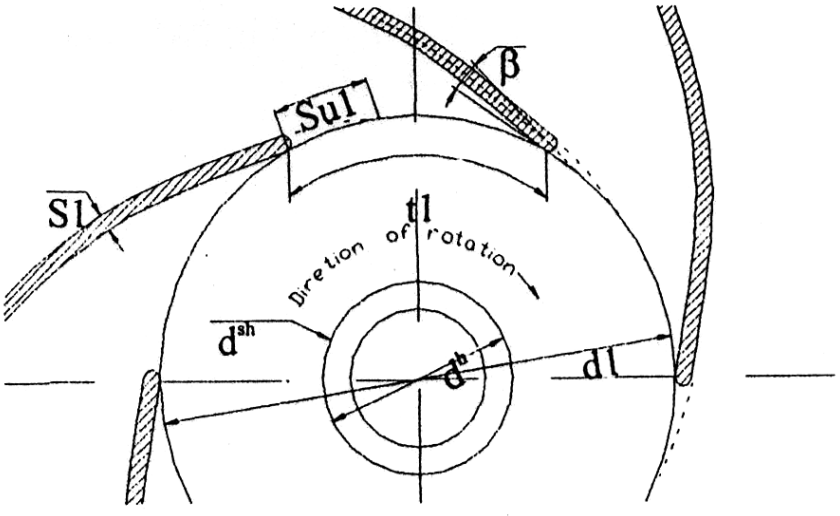
$$= 23^0$$

Untuk memperbaiki kapasitas isap pompa dan juga meningkatkan efisiensi yang direncanakan, diperlukan menambah sudut β_1 dengan sudut jatuh δ. Besarnya sudut jatuh terletak antara $2^0 - 6^0$ (Stephen Lazarkiwics, 1965). Pada perencanaan diambil harga $\delta_1 = {}^0$, maka besarnya sudut kemiringan adalah :

$$\beta_{1A}' = \beta_{1A} + \delta_1$$

$$= 23^0 + 2^0$$

$$= 25^0$$



Gambar 2.5. Jarak lingkar sudu impeler pada sisi masuk
(Sumber : Lazarkiewics, 1965)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Jarak lingkar sisi masuk (*pitch*) t_1 adalah :

$$t_1 = \frac{\pi . d_{1A}}{z}$$

dengan :

d_{1A} = diameter sisi masuk pada garis alir A_1A_2

z = jumlah sudu impeler, untuk kelengkungan ganda batasannya adalah 1 – 8

untuk d_{1A} = 95 mm dan z = 7 (asumsi), maka :

$$t_1 = \frac{\pi . 95}{7}$$

$$= 42{,}6 \text{ mm}$$

untuk mencari harga s_{u1} digunakan persamaan :

$$s_{u1} = \frac{s_1}{\sin \beta_{1A}}$$

dengan :

s_{u1} = proyeksi tebal sudu pada arah keliling sisi masuk impeler

s_1 = ketebalan sudu

β_{1A}' = sudut masuk pada garis A_1A_2

untuk s_1 = 5 mm (asumsi) dan β_{1A}' = 25^0, maka :

$$s_{u1} = \frac{5}{\sin 25^0}$$

$$= 11{,}8 \text{ mm}$$

Koefisien kontraksi (φ_1) adalah :

$$\varphi_1 = \frac{t_1}{t_1 - s_{u1}}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan :

t_1 = jarak lingkar sisi masuk (mm)

s_{u1} = proyeksi tebal sudu pada arh keliling sisi masuk impeler (mm)

untuk t_1 = 42,6 mm dan s_{u1} = 11,8 mm, maka :

$$\varphi_1 = \frac{42,6}{42,6 - 11,8}$$

$$= 1,38$$

Dengan menghitung ulang harga c_o digunakan persamaan :

$$c_o = \frac{c_{m1}}{\varphi_1}$$

dengan :

c_{m1} = kecepatan meridional pada sisi masuk (m/det)

φ_1 = koefisien kontraksi

untuk c_{m1} = 3,1 m/det, φ_1 = 1,38 maka :

$$c_o = \frac{3,1}{1,38}$$

$$= 2,25 \text{ m/s}$$

Dengan cara yang sama dapat diubah harga-harga sebagai berikut :

Luasan bebas pada mata impeler (A_o) :

$$A_o = \frac{Q'}{c_o}$$

$$= \frac{0,0357}{2,25}$$

$$= 1,6.10^{-2} \text{ m}^2$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Luasan penampang total (A_O')

$$A_O' = A_o + A_h$$

untuk luasan penampang pada sisi masuk impeler, $A_h = 1{,}19.10^{-3}$ m^2, maka :

$$A_o' = 1{,}6.10^{-2} + 1{,}19.10^{-3}$$

$$= 0{,}0175\ m^2$$

Diameter mata sisi masuk impeler (d_o):

$$d_o = \sqrt{\frac{4.A_o'}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4.0{,}0175}{\pi}}$$

$$= 149\ mm$$

2.3.4 Lebar Sisi Masuk Impeler

Untuk menghitung lebar sisi masuk impeler (b_1) digunakan persamaan :

$$b_1 = \frac{A_1}{\pi.d_1}$$

dengan :

A_1 = luas sisi masuk impeler

d_1 = diameter mata sisi masuk impeler

A_1= adalah luas sisi masuk impeler yang harganya dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$A_1 = \varphi_1 \frac{Q'}{C_{m1}}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan :

φ_1 = koefisien kontraksi sisi masuk

cm_1 = kecepatan sisi masuk impeler

untuk c_{m1} = 3,1 m/s , φ_1 = 1,42, Q' = 0,0357 m^3/s,

maka :

$$A_1 = 1{,}42\,\frac{0{,}0357}{3{,}1}$$

$$= 0{,}016\ m^2$$

untuk A_1 = 0,016 m^2 dan d_1 = 0,149 m, maka :

$$b_1 = \frac{0{,}016}{\pi.0{,}149}$$

$$= 0{,}034\ m = 34\ mm$$

2.3.5 Diameter sisi keluar impeler

Diameter sisi keluar impeler (d_2) dapat dihitung bila terlebih dahulu mengetahui besarnya harga kecepatan keliling sisi keluar (u_2). Harga u_2 diketahui dengan persamaan : (Stephen Lazarkiwics, 1965)

$$u_2 = \frac{c_{m2}}{2xtg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{c_{m2}}{2xtg\beta 2}\right)^2 + g.H_{th}.(1+c_p)}$$

dengan :

c_{m2} = komponen meridional kecepatan sisi keluar

Harga c_{m2} atau kecepatan meridional sisi keluar impeler dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$c_{m2} = K_{cm2} . \sqrt{2.g.H}$

dengan :

K_{cm2} = koefisien kecepatan meridional

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

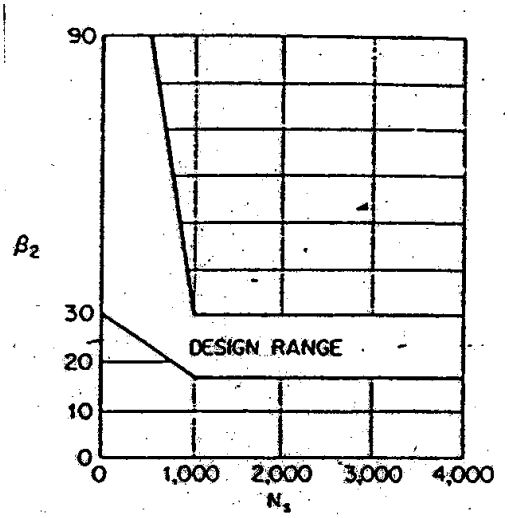
H = head total pompa (m)

Dari grafik Gambar 3.2 untuk n_{sq} = 32,7 didapat K_{cm2} = 0,13. Sehingga harga C_{m2} dapat dihitung sebagai berikut :

$c_{m2} = 0,13. \sqrt{2x9,81x17}$

= 2,37 m/s

Sudut β_2 adalah sisi keluar, besarnya sudut ini berkisar antara $15^0 – 35^0$ (Stephen Lazarkiewics, 1965). Untuk menentukan besarnya Sudut β_2 digunakan grafik di bawah ini :



Gambar 2.6. Hubungan antara kecepatan spesifik dengan β_2
(Sumber : Igor J Karassik, 1976)

Dengan n_s = 1689,8 maka dari grafik di atas didapat besarnya sudut $\beta_2 = 30^0$ dan tan β_2 = 0,57.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

H_{th} adalah head teortis untuk jumlah sudu impeler yang terbatas, dihitung dengan persamaan :

$$H_{th} = \frac{H}{\eta_h}$$

dengan :

H = head teoritis (m)

η_h = efisiensi hidrolis

Efisiensi hidrolis dihitung dengan persamaan :

$$\eta_h = 1 - \frac{0,8}{Q^{0,25}}$$

untuk Q = 125 m^3/jam = 550,36 gpm, maka :

$$\eta_h = 1 - \frac{0,8}{550,36^{0,25}}$$

$$= 84\ \%$$

Besarnya head teoritis :

$$H_{th} = \frac{17}{0,84}$$

$$= 20,24\ m$$

Faktor koreksi Pleiderer untuk jumlah sudu yang berhingga adalah 1 + c_p, harga c_p antara 0,3 – 0,4.

Maka dapat dihitung besarnya kecepatan keliling sisi keluar (u_2) :

$$u_2 = \frac{2,37}{2x\tan 30^0} + \sqrt{\left(\frac{2,37}{2x\tan 30^0}\right)^2 + 9,81x20,24(1+0,35)}$$

$$= 18,8\ m/s$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Besarnya diameter sisi keluar impeler (d_2) dihitung dengan persamaan :

$$d_2 = \frac{60.u_2}{\pi.n}$$

dengan :

u_2 = kecepatan keliling pada sisi keluar (m/s)

n = putaran pompa (rpm)

Diameter sisi keluar :

$$d_2 = \frac{60x18{,}8}{\pi x1470}$$

$$= 0{,}244 \text{ m}$$

$$= 244 \text{ mm}$$

2.3.6. Lebar Sisi Keluar impeler

Pitch/jarak lingkar sisi keluar (t_2) dicari dengan persamaan :

$$t_2 = \frac{\pi.d_2}{z}$$

dengan :

d_2 = diameter sisi keluar impeler (mm)

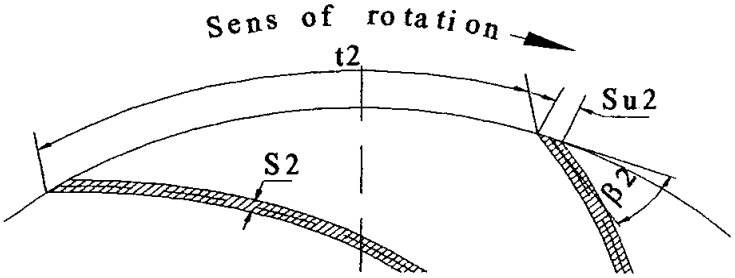
z = jumlah sudu impeler

Untuk jumlah sudu yang direncanakan sebanyak z = 7 buah dan besarnya d_2 = 244 mm, maka jarak lingkar keluar :

$$t_2 = \frac{\pi x244}{7}$$

$$= 109 \text{ mm}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.7. Penampang sudu impeler pada sisi keluar
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Besarnya tebal sudu rata-rata, S_{u2} dapat dihitung dengan persamaan :

$$s_{u2} = \frac{S_2}{\sin \beta_2}$$

dengan:

s_2 = tebal sudu (mm)

β_2 = sudut sisi keluar impeler

untuk s_2 diambil asumsi sebesar 5 mm, maka :

$$s_{u2} = \frac{5}{\sin 30^0}$$

$$= 10 \text{ mm}$$

Koefisien kontraksi sisi keluar impeler, φ_2 dihitung berdasarkan persamaan :

$$\varphi_2 = \frac{t_2}{t_2 - s_{u2}}$$

dengan :

t_2 = jarak lingkar sisi keluar (mm)

untuk t_2 = 109 mm dan s_{u2} = 10 mm, maka :

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\varphi_2 = \frac{109}{109 - 10}$$

$$= 1{,}1$$

Luas penampang sisi keluar (A) dihitung dengan persamaan :

$$A_2 = \frac{Q'}{c_0}$$

Harga c_0 ditentukan dengan persamaan :

$$c_0 = \frac{c_{m2}}{\varphi_2}$$

$$= \frac{2{,}37}{1{,}1}$$

$$= 2{,}15 \text{ m/s}$$

Besarnya luas penampang sisi keluar :

$$A_2 = \frac{0{,}0357}{2{,}15}$$

$$= 0{,}016 \text{ m}^2$$

Lebar sisi keluar impeler (b_2) adalah :

$$b_2 = \frac{A_2}{\pi . d_2}$$

dengan :

A_2 = luas penampang sisi keluar (mm^2)

d_2 = diameter sisi keluar (mm)

untuk $A_2 = 0{,}016 \text{ m}^2$ dan $d_2 = 244$ mm,

maka :

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$b_2 = \frac{0{,}016}{\pi.0{,}244}$$

$$= 0{,}02 \text{ m} = 20 \text{ mm}$$

2.4. Metode Perancangan Impeler

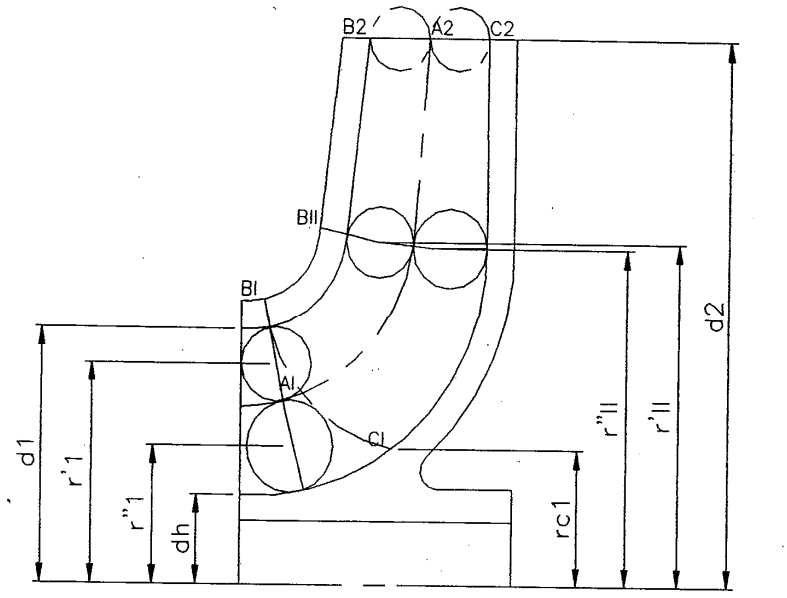
Tahapan-tahapan untuk merencanakan impeler dapat dikerjakan sebagai berikut :

1. Dari hitungan kecepatan spesifik (n_s) dari data debit (Q), tinggi tekan (H) dan putaran motor penggerak maka akan didapatkan bentuk dan jenis impeler.
2. Kemudian menghitung dimensi-dimensi impeler, Yaitu :

   - Diameter masuk (d_0)
   - Diameter hub (d_h)
   - Diameter luar (d_2)
   - Lebar sisi keluar impeler (b_2)
3. Menggambar profil impeler dan tepi masuk sudu. Melengkungkan shroud pada inlet impeler.
4. Impeler dibagi menjadi dua sampai empat aliran elementer dari laju aliran yang sama, keduanya dibatasi oleh garis alir (*stream line*) B_1B_2, A_1A_2, C_1C_2 (harga stream line B_1B_2, A_1A_2 dan C_1C_2 telah dihitung pada perhitungan diameter sisi masuk impeler). Pembagian jumlah aliran elementer tergantung dari ukuran impeler, pada banyak kasus pembagian cukup menjadi dua aliran elementer, demikian pula pada desain pompa ini. Garis alir B_1B_2 diletakkan pada shroud depan, sedangkan garis alir C_1C_2 diletakkan pada shroud belakang.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5. Buat beberapa lintasan orthogonal I, II, III dan seterusnya (jumlah tergantung kebutuhan) dan masing-masing digambar tegak lurus garis alir B_1B_2 dan C_1C_2.
6. Garis alir A_1A_2 digambar sedemikian rupa sehingga tegak lurus lintasan orthogonal sejauh dapat dipandang oleh mata.
7. Lingkaran-lingkaran digambar menyinggung masing-masing garis alir pada bagian lintasan orthogonal.



Gambar 2.8. Impeler kelengkungan ganda
(Sumber : Lazarkiewics, 1965)

2.4.1. Garis alir A_1A_2

Untuk perencanaan garis alir A_1A_2 telah dihitung diatas, pada perhitungan terdahulu didapat harga-harga sebagai berikut:

d_{1A} : diameter masuk garis alir A_1A_2 = 95 mm

u_{1A} : kecepatan keliling pada garis A_1A_2 = 7,3 m/s

β_{1A}' : sudut sudu masuk/sudut jatuh (*inklinasi*) pada titik $A_1A_2 = 25^0$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

d_0 : diameter mata sisi masuk impeller = 149 mm

Besarnya kecepatan meridional akan bertambah dengan adanya sudut β_{1A}' sebesar:

$$cm_1' = u_{1A} \text{ x } \tan \beta_{1A}'$$

dengan:

cm_1' : kecepatan meridional akibat bertambahnya sudut β_{1A}'

u_{1A} : kecepatan keliling pada garis alir A_1A_2

untuk u_{1A} = 7,31 m/det dan $\beta_{1A}' = 25^0$, maka:

$$cm_1' = 7{,}31 \text{ x } \tan 25^0$$

$$= 3{,}4 \text{ m/s}$$

2.4.2. Garis alir B_1B_2

Diameter titik B_1 adalah diameter mata sisi masuk impeler (d_0), maka d_{1B} = 149 mm (Church, 1983). Kecepatan keliling garis alir B_1B_2 pada sisi masuk impeler :

$$u_{1B} = \frac{(\pi x d_{1B} x n)}{60}$$

dengan :

d_{1B} = diameter mata sisi masuk pada B_1

n = putaran pompa

untuk d_{1B} = 149 mm dan n = 1470 rpm, maka :

$$u_{1B} = \frac{(\pi x 149.10^{-3} x 1470)}{60}$$

$$= 11{,}5 \text{ m/s}$$

Sudut sudu titik B_1 dihitung dengan persamaan :

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\beta'_{1B} = \text{arc.tan}\left[\left(\frac{u_{1A}}{u_{1B}}\right).\tan\beta'_{1A}\right]$$

dengan :

u_{1A} = kecepatan keliling garis alir A_1A_2

u_{1B} = kecepatan keliling garis alir B_1B_2

untuk u_{1A} = 8,3 m/s dan u_{1B} = 11,5 m/s,

maka :

$$\beta'_{1B} = \text{arc.tan}\left[\left(\frac{8,3}{11,5}\right).\tan 23^0\right]$$

$$= 17^0$$

2.4.3 Garis alir C_1C_2

Diameter mata sisi masuk impeler pada titik C_1 dipilh, sehingga sudut sudu titik tersebut β'_{1C} tidak melebihi 50^0 (Lazarkiewicz, 1965), maka dipilih d_{1c} = 74 mm.

Kecepatan keliling pada titik C_1C_2 adalah :

$$u_{1C} = \frac{(\pi x d_{1C} x n)}{60}$$

dengan :

d_{1c} : diameter mata sisi masuk pada c_1

n : putaran pompa

maka d_{1c} = 74 mm dan n = 1470 rpm, maka :

$$u_{1C} = \frac{(\pi x d_{1C} x n)}{60}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$u_{1C} = \frac{\pi x 74.10^{-3} x 1470}{60}$$

u_{1C} = 5,69 m/s

Sudut sudu titik C_1 diberikan oleh persamaan :

$$\beta'_{1C} = \text{arc.tan}\left[\left(\frac{u_{1A}}{u_{1C}}\right).\tan\beta'_{1A}\right]$$

Dengan :

u_{1A} : kecepatan keliling pada garis alir A_1A_2

u_{1C} : kecepatan keliling pada garis alir C_1C_2

β'_{1A} : sudut jatuh (inklinasi)

untuk u_{1A} = 8,3 m/s, u_{1C} = 5,69 m/s dan $\beta'_{1A} = 23^0$

maka :

$$\beta'_{1C} = \text{arc.tan}\left[\left(\frac{u_{1A}}{u_{1C}}\right)\right].\tan\beta'_{1A}$$

$$= \text{arc.tan}\left[\left(\frac{8,3}{5,69}\right).\tan 23^0\right]$$

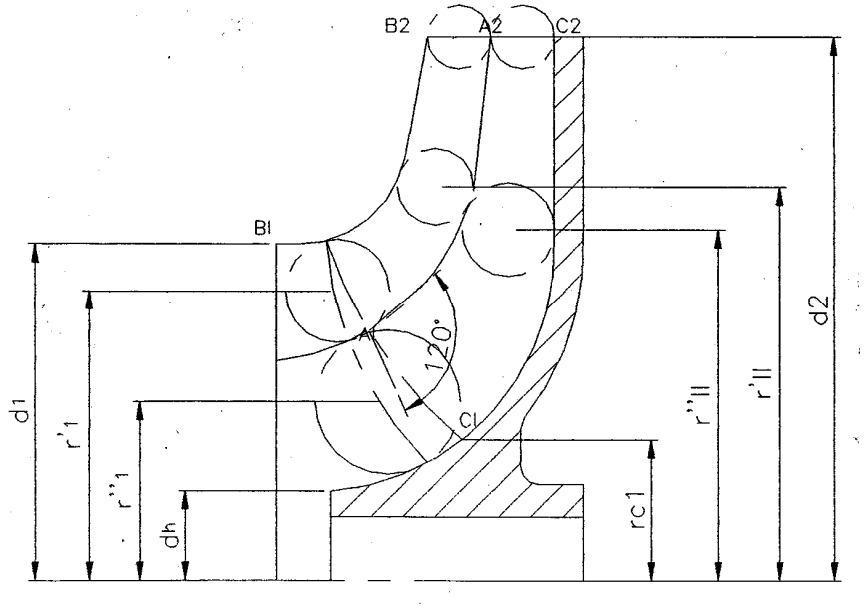
$$= 31,76^0$$

2.5. Koreksi Terhadap Besaran Yang Diasumsikan

Telah disebutkan di atas bahwa harga-harga koefisien konstraksi (φ_1), factor koreksi dari Pleiderer (C_P), serta jumlah sudu (z) akan dikoreksi. Berikut ini adalah koreksi-koreksi terhadap harga tersebut.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.5.1. Koreksi terhadap koefisien konstraksi sisi masuk (φ_1)



Gambar 2.9. Besar sudut λ'_1
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Koefisien konstraksi pada sisi masuk atau φ_1 pada bagian atas adalah sebesar φ_1 = 1,35 akan dibandingkan dengan harga yang diperoleh melalui perhitungan yang mengunakan persamaan :

$$\frac{1}{\varphi_1} = 1 - \frac{s_1}{1}\sqrt{1+\frac{\cot^2 \beta'_{1A}}{\sin^2 \lambda'_1}}$$

dengan:

s_1 : tebal sudu sisi masuk. Dalam perencanaan pompa brine ini tebal sudu diambil 5 mm

t_1 : pitch sisi masuk

λ_1' : sudut antara ujung sisi masuk dengan garis alir

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

untuk s_1 = 5 mm, t_1 = 42,6 mm, $\beta'_{1A} = 25^0$ dan λ_1' ditentukan 120^0

maka :

$$\frac{1}{\varphi_1} = 1 - \frac{5}{49,7}\sqrt{1+\frac{\cot^2 25^0}{\sin^2 120^0}}$$

$$= 0,73$$

$$\varphi = 1,37$$

Koefisien konstraksi, φ yang diasumsikan adalah 1,35 sedangkan dari perhitungan diatas didapat φ = 1,37, sehingga harga koefisien konstruksi dapat diterima.

2.5.2. Koreksi terhadap faktor koreksi dari Pleiderer

Pada perhitungan keliling sisi keluar (u_2) telah diasumsikan nilai C_p sebesar 0,4. Untuk membuktikan harga dari C_p ini dapat dibenarkan atau tidak maka dapat diuji dengan persamaan:

$$Cp = \frac{\psi'.r_2^2}{z.M_{st}}$$

Dengan M_{st} adalah momen statik dari garis alir A_1A_2 terhadap sumbu rotasi, persamaan untuk jenis impeler aliran radial:

$$M_{st} = \int_{r_1}^{r_2} rdr = \frac{1}{2}\left(r_2^2 - r_1^2\right)$$

dengan :

r_2 = jari-jari dari diameter luar impeler

r_1 = jari-jari dari diameter sisi masuk garis alir A_1A_2

untuk r_2 = 244/2 = 122 mm dan r_1 = 95/2 = 47,5

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

maka:

$$M_{st} = \frac{1}{2}\left(122^2 - 47{,}5^2\right)$$

$$= 6314 \text{ mm}^2$$

$$= 6{,}3.10^{-3} \text{ m}^2$$

Koefisien ψ dihitung dengan persamaan:

$$\psi = (0{,}55\text{-}0{,}68) + 0{,}6\sin\beta_2$$

untuk $\beta_2 = 30^0$, harga $\frac{d_2}{d_0} = \frac{244}{149} = 1{,}63 \leq 1{,}9$ dan $r_1/r_2 = 0{,}4$

maka :

$$\psi = (0{,}55\text{-}0{,}68) + 0{,}6\sin 30^0$$

$$= 0{,}85 - 0{,}98$$

Impeler direncanakan harga ψ diambil 0,9, sehingga dengan memasukkan harga-harga tersebut di atas ke persamaan C_p, maka dapat ditentukan :

$$C_p = \frac{0{,}98x0{,}122^2}{7x6{,}3.10^{-3}}$$

$$= 0{,}33$$

2.5.3. Koreksi terhadap jumlah sudu yang diambil

Jumlah sudu yang diasumsikan diatas dapat dicek kebenarannya dengan menggunakan persamaan:

$$z = 6{,}5\frac{\left(d_2 + d_{1A}\right)}{\left(d_2 - d_{1A}\right)}\sin\left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right)$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$z = 6{,}5\frac{(244+95)}{(244-95)}\sin\left(\frac{25^0+30^0}{2}\right)$$

$$= 6{,}8$$

Jumlah sudu yang diasumsikan diatas sebesar 7 buah, sehingga harga jumlah sudu tersebut dapat dibenarkan.

2.5.4. Koreksi Terhadap Sudut β_2

Sudut β_2 dikoreksi dengan tujuan untuk mengecek harga head total yang dihasilkan oleh kecepatan u_2 sudah memenuhi head yang direncanakan (dalam hal ini sudut β_2 adalah salah satu parameter penting dalam menentukan kecepatan u_2). Hubungan antara kecepatan u_2 dan head total didekati oleh persamaan:

$$H = \frac{u_2^2}{2.g.K_{u2}^2}$$

dengan:

K_{u2} : koefisien kecepatan eksperimental yang nilainya dapat dicari dari tabel berikut.

Tabel 2.2 Koefisien K_{u2}

d_2/d_1	3,0	2,5	2,0	1,7
K_{u2}	0,93 – 0,97	0,97 – 1,02	1,00 – 1,05	1,10 – 1,15

(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Untuk nilai rasio $d_2/d_{1A} = 244/95 = 2{,}56$, dari tabel diambil nilai $K_{u2} = 1{,}02$ maka:

$$H = \frac{18{,}8^2}{2x9{,}81x1{,}02^2}$$

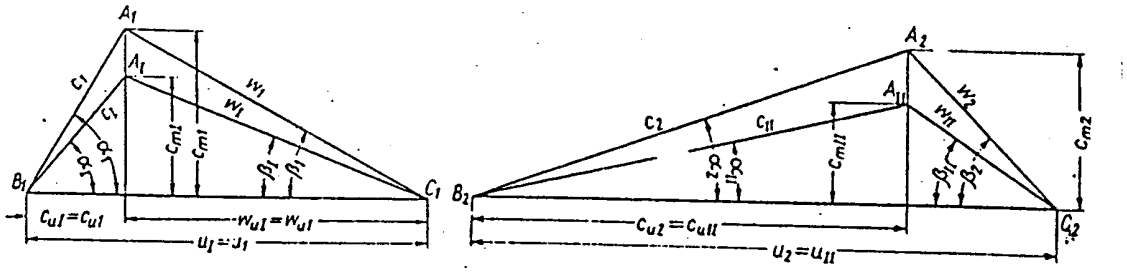
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

H = 17,3 m

Besarnya head total yang direncanakan H = 17 m, dari pengecekan diatas harga head total H = 17,3 m maka dapat diterima.

2.6. Segitiga Kecepatan

Berdasarkan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan diatas, maka dapat dilukiskan segitiga kecepatan pada sisi masuk dan pada sisi keluar dari impeler.



2.6.1. Segitiga Kecepatan pada Sisi Masuk

Data-data yang telah dihitung pada bagian sebelumnya, adalah :

u_{1A} = 7,3 m/s $\beta'_{1A} = 25^0$

u_{1B} = 11,5 m/s $\beta'_{1B} = 17^0$

u_{1C} = 5,69 m/s $\beta'_{1C} = 31{,}76^0$

c_{m1}' = 3,4 m/s $\alpha_1 = 90^0$

Besarnya kecepatan relative sisi masuk (w_1) adalah :

$$w_{1A} = \frac{cm_1'}{\sin \beta_{1A}'}$$

$$= \frac{3{,}4}{\sin 25^0}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

w_{1A} = 8,05 m/s

$$w_{1B} = \frac{cm_1'}{\sin \beta_{1B}'}$$

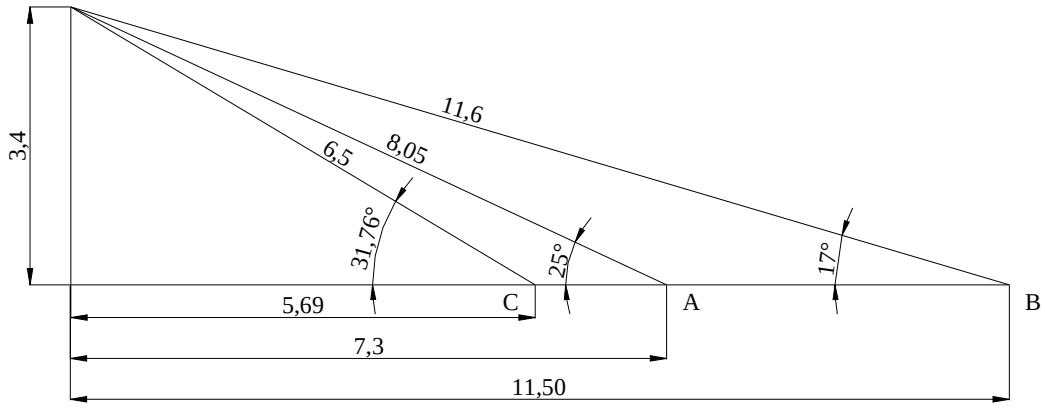
$$= \frac{3,4}{\sin 17^0}$$

= 11,6 m/s

$$w_{1C} = \frac{cm_1'}{\sin \beta_{1C}'}$$

$$= \frac{3,4}{\sin 31,76^0}$$

= 6,5 m/s



Gambar 2.10. Diagram segitiga kecepatan pada sisi masuk

2.6.2. Segitiga Kecepatan pada Sisi Keluar

Data-data yang telah dihitung pada bagian sebelumnya, adalah :

cm_2 = 2,37 m/s

u_2 = 18,8 m/s

β_2 = 30^0

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$\varphi_2 = 1,1$

Untuk menggambar segitiga kecepatan keluar dibutuhkan komponen tangensial kecepatan absolute (cu_2), dan dalam hal ini dapat dihitung dengan menggunakan keempat data di atas, yaitu :

$$cu_2 = u_2 - \left(\frac{cm_2}{\tan \beta_2} \right)$$

dengan :

u_2 : adalah kecepatan keliling pada sisi masuk

cm_2 : adalah kecepatan meredional pada sisi keluar

β_2 : adalah sudut sisi keluar

untuk $u_2 = 18,8$ m/s, $\beta_2 = 30^0$ dan $cm_2 = 2,37$ m/s

maka:

$$cu_2 = 18,8 - \left(\frac{2,37}{\tan 30^0} \right)$$

$= 14,7$ m/s

Pada perhitungan segitiga kecepatan sisi keluar ini akan terjadi suatu deviasi fluida dari arah sudu yang akan mengurangi besar komponen kecepatan absulut impeler pada sisi tekan, yang mengakibatkan turunnya head. Fenomena ini dikenal dengan nama slip, inilah suatu konsekuensi dari distribusi kecepatan yang tidak uniform pada saluran impeler melintang, akumulasi lapis batas dan separasi aliran.

Untuk memperoleh kecepatan absulut dalam arah tangensial pada saat fluida keluar dari impeler (cu_2') dapat dipergunakan persamaan:

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$cu_2' = \frac{cu_2}{(1+C_p)}$$

dengan:

Cp : koefisien Pfleiderrer

cu_2 : kecepatan absulut pada sisi keluar

untuk Cp = 0,4 dan cu_2 = 14,7 m/s

maka:

$$cu_2' = \frac{14,7}{(1+0,4)}$$

= 10,5 m/s

Komponen meridional kecepatan akan berkurang secara perlahan-lahan dari cm_2 pada saluran masuk menjadi cm_2' pada bagian keluar dari impeler.

Hubungan keduanya diberikan oleh persamaan:

$$cm_2' = \frac{cm_2}{\varphi_2}$$

dengan:

cm_2 : kecepatan meridional pada sisi keluar

φ_2 : koefisien kontraksi sisi keluar

untuk cm_2 = 2,37 m/s dan φ_2 = 1,1

maka:

$$cm_2' = \frac{2,37}{1,1}$$

= 2,15 m/s

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Besarnya kecepatan relative sisi keluar dapat dicari secara analitis maupun grafis. Jika secara analitis dengan menggunakan persamaan :

$$w_2 = \frac{cm_2'}{\sin \beta_2}$$

$$= \frac{2{,}15}{\sin 30^0}$$

$$= 4{,}3 \text{ m/s}$$

Dengan adanya koreksi kesebandingan akan mempengaruhi besarnya sudut fluida pada saat keluar impeller (β_2'), yaitu :

$$\tan \beta_2' = \frac{cm_2'}{u_2 - cu_2'}$$

untuk cm_2' = 2,15 m/s, u_2 = 18,8 m/s, cu_2' = 10,5 m/s

maka:

$$\tan \beta_2' = \frac{2{,}15}{18{,}8 - 10{,}5}$$

$$= 14{,}5^0$$

Untuk kecepatan relative pada saat fluida keluar impeller akan mengalami perubahan sebesar:

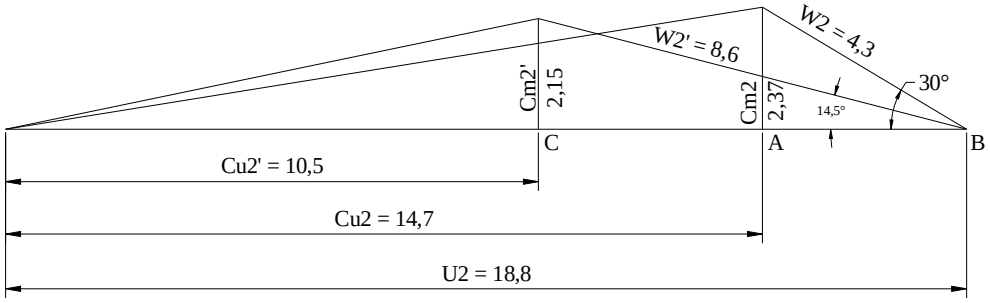
$$w_2' = \frac{cm_2'}{\sin \beta_2'}$$

untuk cm_2' = 2,15 m/s, dan β_2' = $14{,}5^0$

maka:

$$w_2' = \frac{2{,}15}{\sin 14{,}5^0} = 8{,}6 \text{ m/s}$$

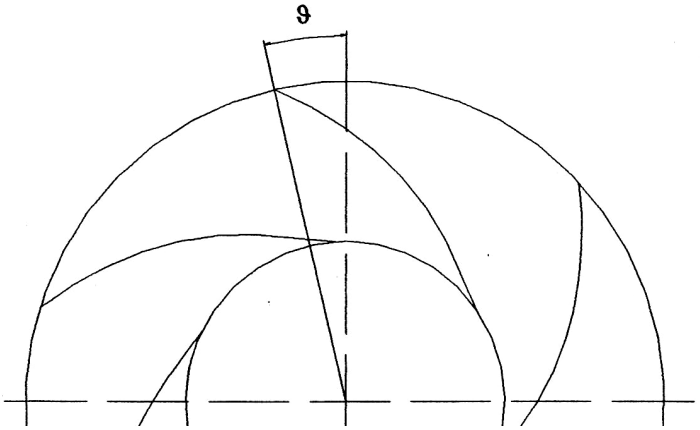
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.11. Diagram segitiga kecepatan keluar

2.7. Desain Permukaan Sudu

Bentuk dari sebuah impeler ditentukan oleh dua sudu yang saling berurutan dari empeler tersebut. Dengan catatan bahwa untuk diameter sisi masuk (d_0), diameter sisi keluar (d_2), sudut sisi masuk (β_1), sudut sisi keluar (β_2) adn jumlah sudu (z) dari dua buah impeler yang dapat berbeda. Hal ini karena kelengkungan sudu dapat berbeda untuk dua buah sudu yang sama besar.



Gambar 2.12. Sudut overlap suatu sudu
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

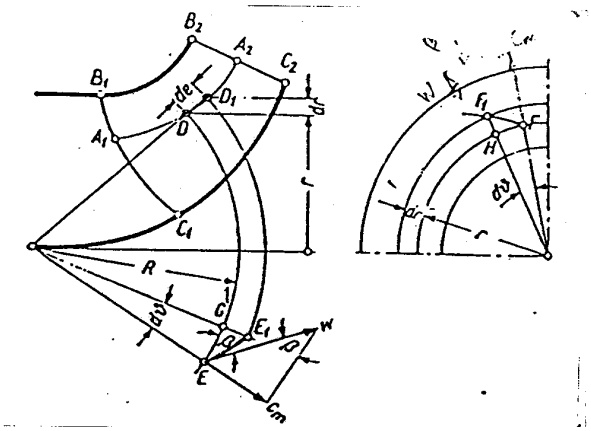
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Ukuran sudu yang pendek akan menambah kemungkinan pemisahan aliran dari permukaan sudu dan pembentukan pusaran, akan tetapi sebaliknya jika terlalu panjang akan memperbesar kerugian gesek, maka jumlah sudu yang ideal untuk *pompa adalah 4 – 9*, dan sudut overlap terletak antara harga 35^0 - 50^0.

Untuk menentukan kelengkungan suatu impeler yang direncanakan ada sejumlah metode yang ditawarkan. Pada perancangan ini menggunakan metode point by point metode, metode ini paling sering digunakan dalam desain. Untuk setiap titik pada permukaan sudu yang berjari-jari r dari sumbu poros dan menempati sudut sentral θ yang diukur dari garis radial sembarang yang dipakai sebagai acuan ($\theta = 0^0$)

Akan berlaku:

$$\Theta = \left(\frac{180}{\pi}\right) x \left[\left(\frac{1}{r}\right)\tan\beta\right] de$$



Gambar 2.13. Metode point by point
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

Integral diatas akan diselesaikan secara numerik karena tidak ada persamaan yang menghubungkan e,r dan β. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Dari dimensi impeler yang dihitung diatas digambar profil impelernya.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Untuk setiap garis alir dibagi paling sedikit 6 bagian yang sama (d_s) dapat dilihat pada gambar 2.13.
3. Untuk setiap titik pembagian diukur jari-jarinya.
4. Mengasumsikan bahwa variasi cm dan w terhadap s untuk masing-masing garis alir.

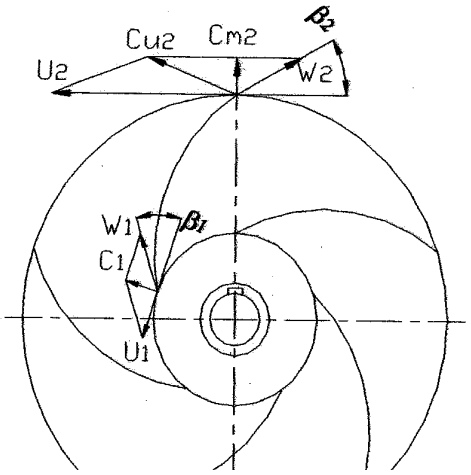
Asumsikanlah bahwa kurva variasi cm dan w pertama kali sebagai garis lurus. Setelah dilakukan perhitungan akan memberikan hasil akhir pada sudut sentral θ yang berbeda untuk masing-masing garis alir, sehingga perlu dikoreksi untuk mendapatkan sudut sentral θ yang sama atau setidaknya mendekati sama.

Koreksi dilakukan dengan memperpendek atau memperpanjang garis alir melalui pengubahan variasi dari kurva cm dan w. Untuk memperpanjang garis alir kurva cm dilengkungkan ke bawah dan atau kurva w dilengkungkan ke atas. Sedangkan untuk memperpendek garis alir kurva cm dilengkungkan keatas dan atau kurva w dilengkungkan ke bawah.

Rumus-rumus yang dipakai dalam table perhitungan adalah:

1. $\sin \beta = \frac{cm}{w}$
2. $K = \frac{1}{(rx \tan \beta)}$
3. $da = ds.\left[\frac{K_n + K_{n+1}}{2}\right]$
4. $\theta = 180.\frac{\Sigma da}{\pi}$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



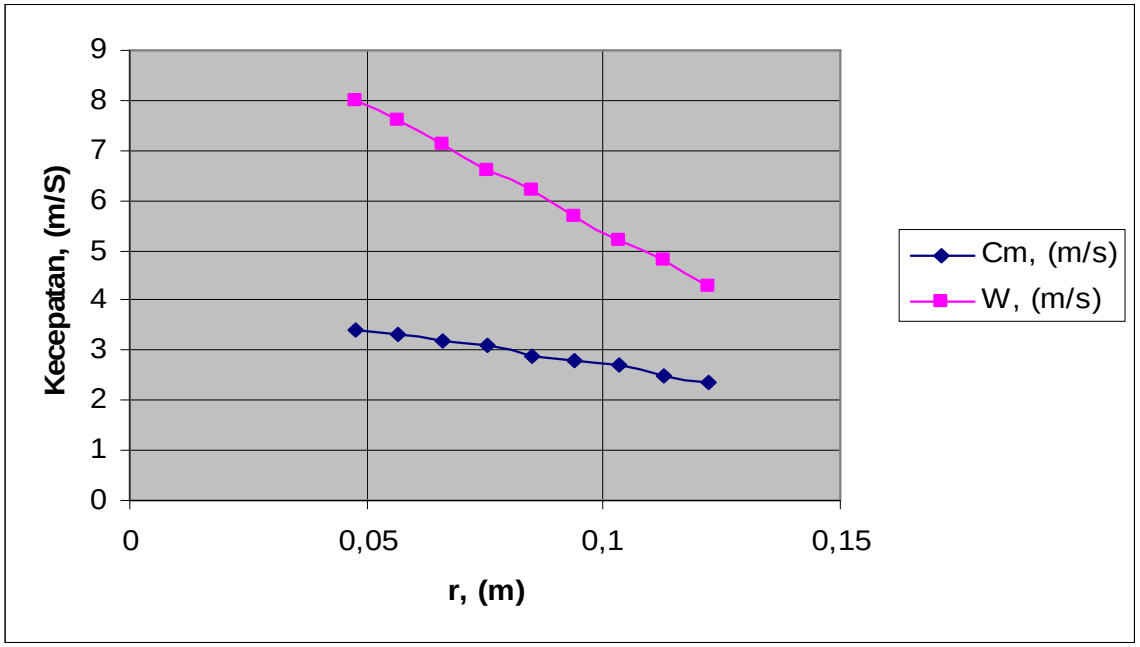
Gambar 2.14. Arah segitiga kecepatan pada sisi masuk dan keluar.
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

Hasil perhitungan untuk masing-masing garis alir dan grafik cm dan w terhadap ds dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2.2. Perhitungan garis stream line A_1A_2

Point	**r (m)**	**Δr (m)**	**Cm (m/s)**	**W (m/s)**	**Sin β⁰**	**β ⁰**	**r tan β⁰**	**K**	**Δa**	**Σ Δa**	**θ**
A_1	0,0475	0	3,4	8	0,425	25,15	0,02	50	0	0	0
1	0,0568	0,0093	3,3	7,6	0,43	25,48	0,027	37	0,4	0,4	22,9
2	0,0661	0,0093	3,2	7,1	0,45	26,74	0,033	30,3	0,3	0,7	40
3	0,0754	0,0093	3,1	6,6	0,46	27,39	0,039	25,6	0,26	0,96	55
4	0,0847	0,0093	2,9	6,2	0,47	28	0,045	22,2	0,22	1,18	67,6
5	0,094	0,0093	2,8	5,7	0,49	29,3	0,053	18,87	0,19	1,37	78,5
6	0,1033	0,0093	2,7	5,2	0,52	31,3	0,063	15,87	0,16	1,53	87,7
7	0,1126	0,0093	2,6	4,8	0,54	32,7	0,07	14,29	0,14	1,67	95,7
A_2	0,122	0,0094	2,37	4,3	0,55	33,37	0,08	12,5	0,13	1,8	103

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

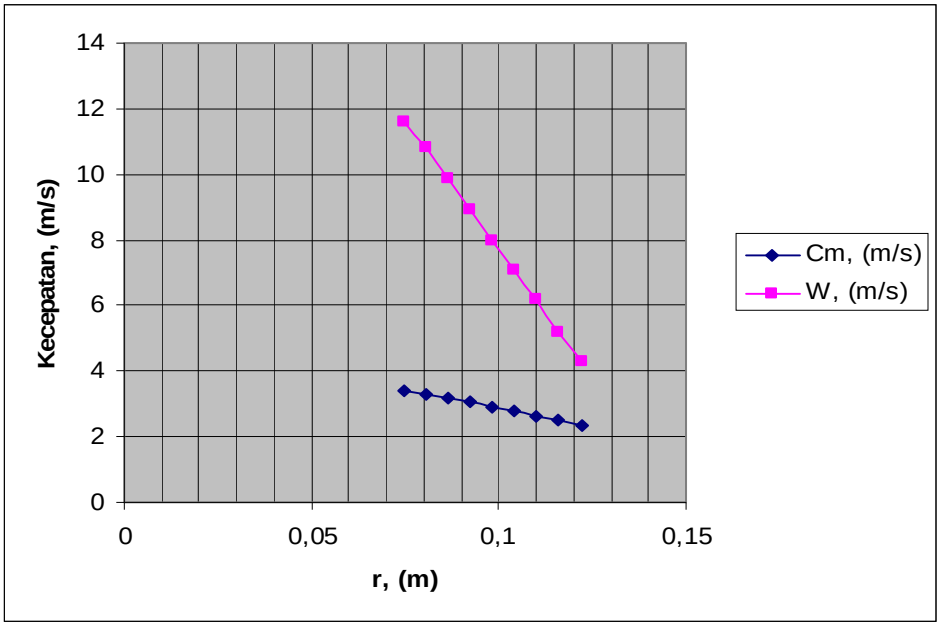


Gambar. 2.15. Grafik hubungan antara dr dengan cm dan w

Tabel 2.3. Perhitungan garis stream line $B1B_2$

Point	r (m)	Δr (m)	Cm (m/s)	W (m/s)	Sin β^0	β^0	r tan β^0	K	Δa	Σ Δr	Θ
B_1	0,0745	0	3,4	11,6	0,29	16,86	0,023	43,48	0	0	0
1	0,0804	0,0059	3,3	10,8	0,31	18,06	0,026	38,46	0,24	0,24	13,8
2	0,0863	0,0059	3,2	9,9	0,32	18,66	0,029	34,48	0,215	0,455	26,06
3	0,0922	0,0059	3,05	8,9	0,34	19,88	0,033	30,3	0,19	0,645	36,9
4	0,0981	0,0059	2,9	8	0,36	21	0,038	26,32	0,167	0,812	46,5
5	0,1040	0,0059	2,8	7,1	0,39	22,95	0,044	22,7	0,145	0,957	54,8
6	0,1099	0,0059	2,6	6,2	0,42	24,8	0,051	19,6	0,125	1,08	61,9
7	0,1158	0,0059	2,5	5,2	0,48	28,68	0,06	16,67	0,107	1,19	68,12
B_2	0,122	0,0062	2,37	4,3	0,55	33,37	0,08	12,5	0,09	1,28	73,28

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

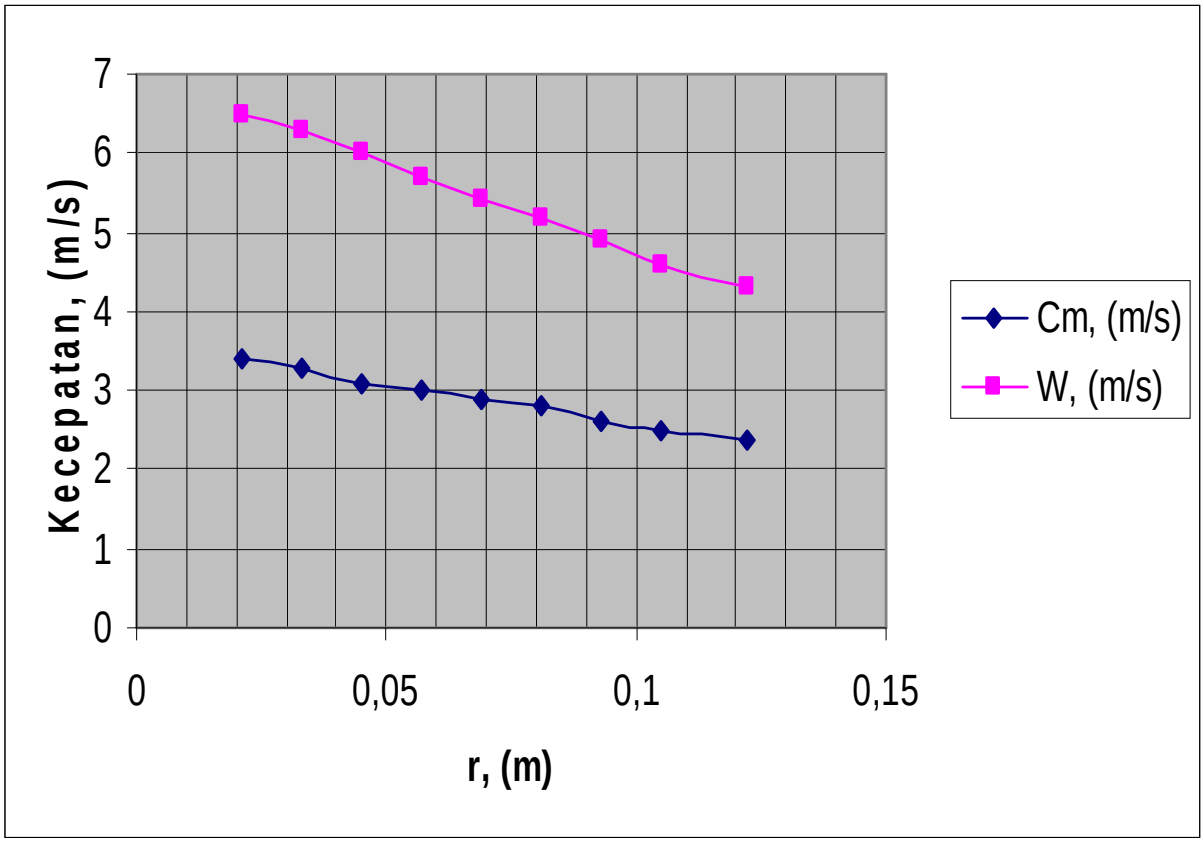


Gambar. 2.16. Grafik hubungan antara dr dengan cm dan w

Tabel 2.4. Perhitungan garis stream line C_1C_2

Point	R (m)	Δr (m)	Cm (m/s)	W (m/s)	Sin β^0	β^0	r tan β^0	K	Δa	Σ Δr	Θ
C_1	0,021	0	3,4	6,5	0,52	31,3	0,013	76,9	0	0	0
1	0,033	0,012	3,3	6,3	0,52	31,3	0,02	50	0,76	0,76	43,5
2	0,045	0,012	3,1	6	0,52	31,3	0,027	37	0,522	1,28	73,3
3	0,057	0,012	3	5,7	0,53	32	0,036	27,78	0,389	1,67	95,68
4	0,069	0,012	2,9	5,4	0,54	32,68	0,044	22,7	0,3	1,97	112,8
5	0,081	0,012	2,8	5,2	0,54	32,68	0,052	19	0,25	2,22	127,2
6	0,093	0,012	2,6	4,9	0,53	32	0,058	17	0,22	2,44	139,8
7	0,105	0,012	2,5	4,6	0,54	32,68	0,067	14,9	0,19	2,63	150,7
C_2	0,122	0,017	2,37	4,3	0,55	33,44	0,081	12,35	0,23	2,86	163,8

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.17. Grafik hubungan antara dr dengan cm dan w

2.8. Pemeriksaan Terhadap Kekuatan Impeler

Pemilihan material disesuaikan dengan fluida yang akan dipompakan untuk menghindari korosi, proses pengecoran, permesinan dan juga biaya. Pada perancangan pompa brine ini bahn impeler yang akan digunakan adalah bronze PBC 2A dengan standar JIS H 5113. Kekuatan tarik yang dimiliki $\sigma = 20$ kg/mm^2.

Adapun alasan pemilihan bronze tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bronze tersebut tahan karat
2. Mempunyai kekerasan permukaan yang tinggi sehingga tahan terhadap goresan.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. Mempunyai tegangan tarik yang tingi = 20 kg/mm^2
4. Bronze tersebut mudah didapat dipasaran.

Tegangan geser yang diijinkan (τ_s):

$$\tau_a = \frac{\sigma}{S_1 x S_2}$$

dengan:

S_1 : faktor keamanan terhadap beban puntir yang diambil sebesar $S_1 = 6$

S_2: faktor bentuk yang diambil sebesar $S_2 = 3$

maka:

$$\tau_a = \frac{20}{6x3}$$

$$= 1{,}1 \text{ kg/mm}^2$$

Bagian impeler yang rawan terhadap tegangan geser adalah bagian shroud belakang sampai bagiab hub impeler. Momen torsi yang diderita oleh impeler sama besarnya dengan momen torsi yang terjadi pada poros. Momen torsi ini menimbulkan gaya geser yang dinyatakan dengan persamaan:

$$F = \frac{2T}{d'_h}$$

Dengan T = momen torsi yang dinyatakan dengan persamaan:

$$T = 9{,}74.10^5 \frac{P_{sh}}{n}$$

Untuk P_{sh} = 11 kW dan n = 1470 rpm, maka:

$$T = 9{,}74.10^5 \frac{11}{1470}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

T = 7288,4 kgmm

Untuk dimaeter hub belakang, d'_h = 42 mm, maka besarnya tegangan geser sebesar:

$$F = \frac{2x7288,4}{42}$$

$$= 347 \text{ kg}$$

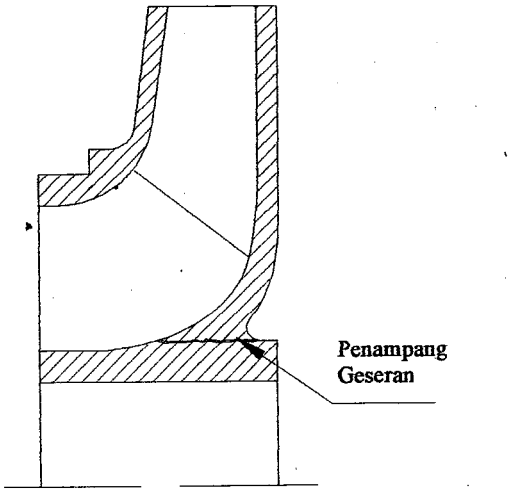
Dengan menggunakan nilai F diatas, maka tebal dinding minimum yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan:

$$Sh_{min} = \frac{F}{\pi.\tau_a.d_h'}$$

$$= \frac{347}{\pi.1,1.42}$$

$$= 2,39 \text{ mm}$$

Dengan demikian tebal dinding impeler yang direncanakan di depan sebesar 5 mm sudah memenuhi.



Gambar 2.18 Penampang sudu impeler yang rawan terhadap tegangan geser.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.9. Ringkasan Hasil Perhitungan Impeler

1. Jenis Impeler:

   a. Impeler dengan isapan tunggal

   b. Tipe radial dengan impeler kelengkungan ganda

2. Diameter poros : d_{sh} = 30 mm

3. Diameter hub depan : d_h = 39 mm

4. Diameter hub belakang : d'_h = 42 mm

5. Diameter sisi masuk A1 : d_{1A} = 95 mm

6. Diameter sisi masuk B1 : d_{1B} = 149 mm

7. Diameter sisi masuk C1 : d_{1C} = 74 mm

8. Sudut sisi masuk pada titik A1 : $\beta'_{1A} = 25^0$

9. Sudut sisi masuk pada titik B1 : $\beta'_{1B} = 17^0$

10. Sudut sisi masuk pada titik C1 : $\beta'_{1C} = 31{,}76^0$

11. Sudut jatuh : $\delta = 2^0$

12. Diameter sisi keluar : d_2 = 244 mm

13. Sudut sisi keluar : $\beta_2 = 30^0$

14. Lebar sisi masuk : b_1 = 34 mm

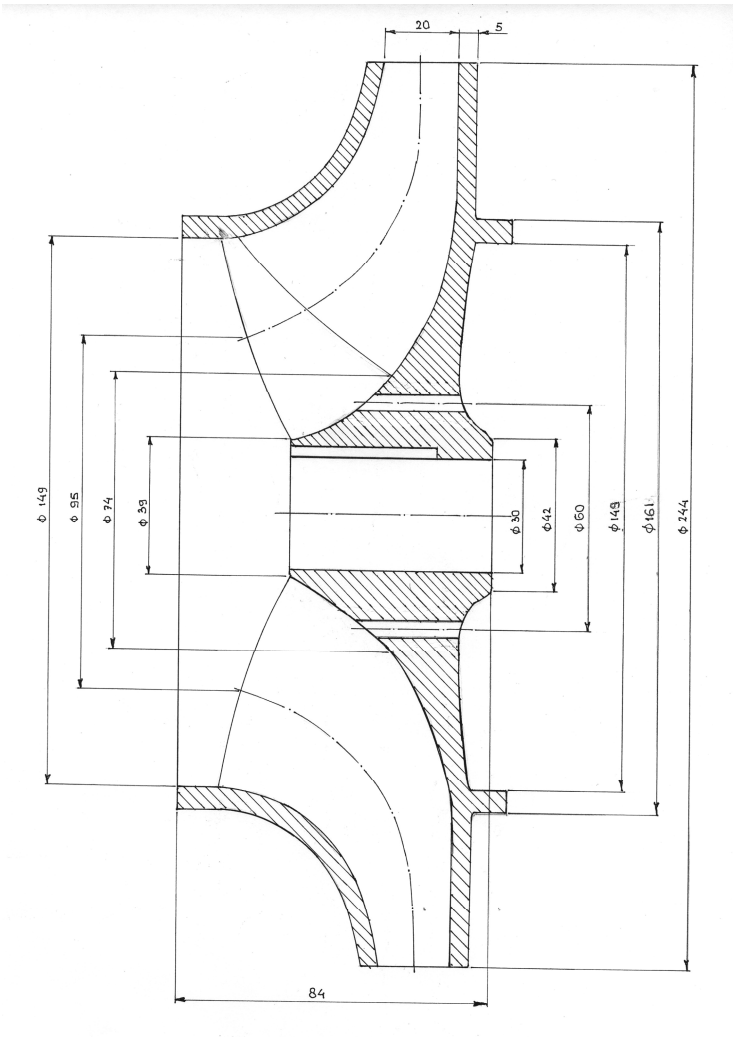
15. Lebar sisi keluar : b_2 = 20 mm

16. Tebal sudu sisi masuk : s_1 = 5 mm

17. Tebal sudu sisi keluar : s_2 = 5 mm

18. Jumlah sudu : Z = 7

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.19. Penampang sudu impeler hasil perencanaan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III

PERENCANAAN SALURAN MASUK DAN RUMAH POMPA

3.1 Saluran Masuk

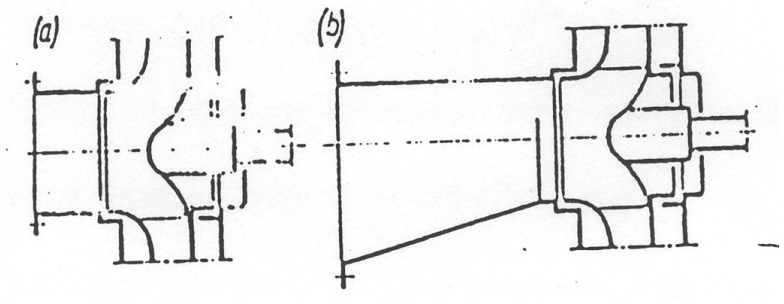
Saluran masuk berfungsi untuk mengarahkan cairan yang akan dipompa kesisi masuk impeler, sehingga kondisi cairan mempunyai distribusi kecepatan yang merata. Bentuk saluran yang baik adalah bentuk yang memiliki penampang mengecil secara bertahap, sehingga akan meningkatkan kecepatan yang seragam dan cairan akan rapat ke dinding saluran serta tidak ada kecenderungan keluar dari permukaan tersebut.

3.1.1. Jenis Saluran Masuk

Beberapa bentuk saluran masuk dan aplikasinya antara lain adalah :

1. Jenis saluran masuk lurus dan miring

   Permukaan bagian atas datar untuk menghindari terbentuknya kantung udara. Saluran jenis ini banyak digunakan di pompa sentrifugal satu tingkat pompa horizontal maupun vertikal serta pompa bertingkat berukuran kecil.

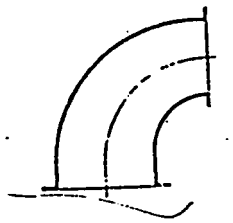


Gambar 3.1. Saluran masuk lurus
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Jenis saluran masuk dengan belokan dan dengan belokan mengecil

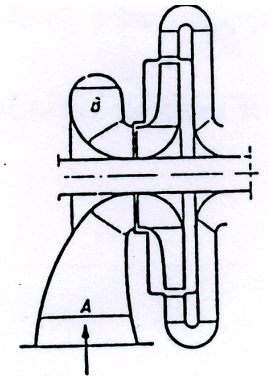
   Saluran jenis ini digunakan pada pompa sentrifugal horizontal dan vertikal namun kurang sesuai untuk pompa dengan kecepatan spesifik yang tinggi karena mengurangi total head dan efisiensi. Bila ditinjau dari segi hidrolis, saluran masuk belokan mengecil lebih baik daripada saluran masuk belokan tanpa pengecilan, karena kecepatan aliran dipercepat.



Gambar 3.2. Saluran masuk melengkung
(Stephen Lazarkiewicz,1965

3. Jenis saluran masuk konsentris

   Saluran ini cukup luas pada arah aksial untuk mencegah cairan lepas dari dinding dan mengurangi kecepatan yang berlebih yang dapat menyebabkan kavitasi. Bentuk ini digunakan dalam pompa tingkat banyak, maupun pompa isapan ganda yaitu pompa dengan kapasitas yang cukup besar.

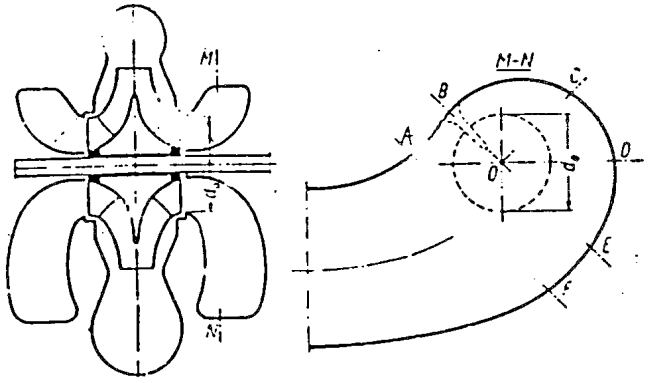


Gambar 3.3. Saluran masuk konsentrik
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. Saluran masuk volut

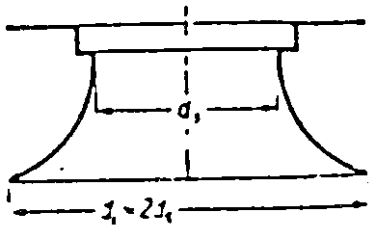
   Saluran jenis ini digunakan pada pompa isapan tunggal dan bertingkat banyak dengan rumah pompa jenis *horizontally split casing*, dimana pipa isap berada dibawah sumbu poros.



Gambar 3.4. Saluran masuk volut
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

5. Jenis saluran mulut lonceng (*Bellmouth*)

   Bentuk ini banyak digunakan pada pompa aliran diagonal dengan kapsitas yang besar dan juga pada pompa propeller. Diameter mulut lonceng biasanya dua kali diameter mata impeler.



Gambar 3.5. Saluran masuk volut
(Sumber : Lazarkiewicz,1965)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.1.2. Pemilihan dan Perencanaan Saluran Masuk

Dalam perencanaan ini diambil bentuk saluran yang lurus, sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3.1.a. Bentuk ini sesuai untuk pompa yang kecil (kapasitas dibawah 10 m^3/s) dan jenis saluran masuk lurus lebih umum digunakan. Diameter flens hisap dipilih sedemikian untuk mempertahankan kecepatan fluida pada flens. Diameter flens hisap dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$dsu = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.Vsu}}$$

dengan:

Q = kapasitas fluida yang masuk saluran hisap

Vsu = kecepatan fluida pada mata impeller

Vsu, berada sedikit dibawah kecepatan fluida pada mata impller (Co = 2,18 m/det. Dengan mengasumsikan kecepatan pada sisi hisap, Vsu sebesar 2 m/s dan kapasitas brine melewati saluran hisap sebanyak Q = 125 m^3/jam = $3{,}5.10^{-2}$ m^3/s, maka:

$$dsu = \sqrt{\frac{4.3{,}5.10^{-2}}{\pi.2}}$$

$$= 0{,}149 \text{ m} = 149 \text{ mm}$$

Dipilih diameter flens hisap sebesar 150 mm sesuai desain pompa standart.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2. Rumah Pompa

3.2.1. Jenis Rumah Pompa

Fluida meninggalkan impeller dengan kecepatan lebih tinggi daripada kecepatan fluida didalam pipa tekan. Kecepatan ini harus dikurangi dan energi kinetik yang dimiliki fluida akan ditransformasikan menjadi energi tekanan di dalam suatu bentuk laluan yang disebut recupator. Elemen ini sama pentingnya dengan impeller dalam desain pompa. Beberapa jenis recupator, diantaranya adalah :

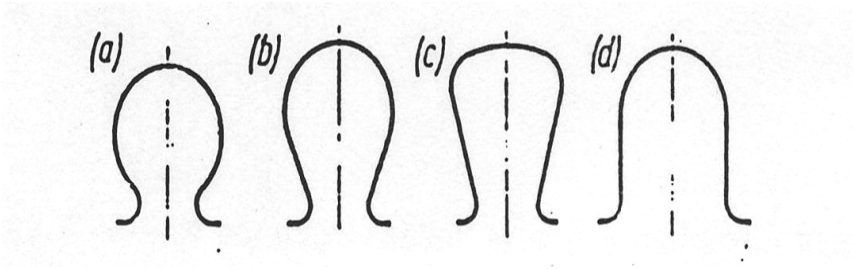
1. Vaneless Guide Ring
2. Annular-Type Recuperator
3. Volute-Type Recuperator
4. Diffuser-Ring Vanes
5. Return Passage Vanes
6. Diagonal Diffuser Vanes
7. Axial Diffuser Vanes

3.2.2. Recuperator Tipe Volute

Perencanaan pompa brine ini menggunakan rumah pompa jenis volute casing, dengan pertimbangan karena bentuknya sederhana dan bentuk ini umum digunakan pada pompa satu tingkat. Jenis rumah pompa (recuperator) ini memiliki banyak keuntungan, diantaranya adalah efisiensi tertinggi setelah fluida keluar impeller dapat tercapai, bentuk yang sederhana dan kerugian hidrolik yang kecil. Keuntungan lainnya adalah kemungkinan untuk mengurangi total head cukup dengan memotong beberapa bagian

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dari suatu impeller maupun dinding impeller, tetapi hanya sedikit sekali mengurangi efisiensinya. Karena pertimbangan diatas maka recuperator didesain dengan bentuk volut. Bentuk penampang dari volut beraneka ragam, seperti ditunjukkan gambar berikut :

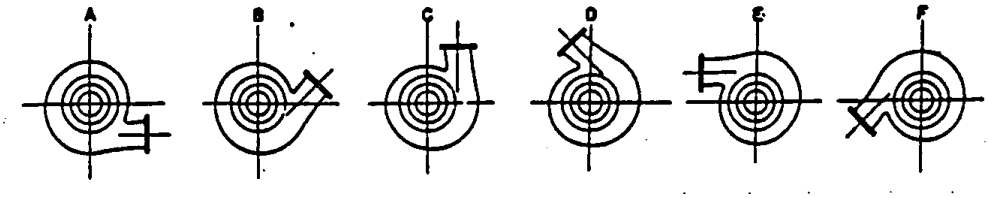


Gambar. 3.6. Penampang Volut
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Bentuk penampang volute lingkaran (gambar a dan b) serta trapezoidal (gambar c) banyak digunakan pada pompa satu tingkat, sedangkan penampang annular (gambar d) digunakan untuk pompa bertingkat.

Pada perencanaan dipilih bentuk penampang volut berupa lingkaran karena desainnya relatif sederhana.

Posisi dari saluran buang dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar. 3.7. Posisi Flens Keluar Pompa Volut
(Sumber : Igor Karassik,1976)

3.2.3. Perencanaan Rumah Volut

Metode kecepatan rata-rata konstan (*the constant mean velocity method*) adalah metode yang digunakan dalam penentuan dimensi volute. Metode ini dipilih karena

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sederhana dibandingkan dengan metode yang lain serta dapat diterapkan pada sembarang penampang melintang.

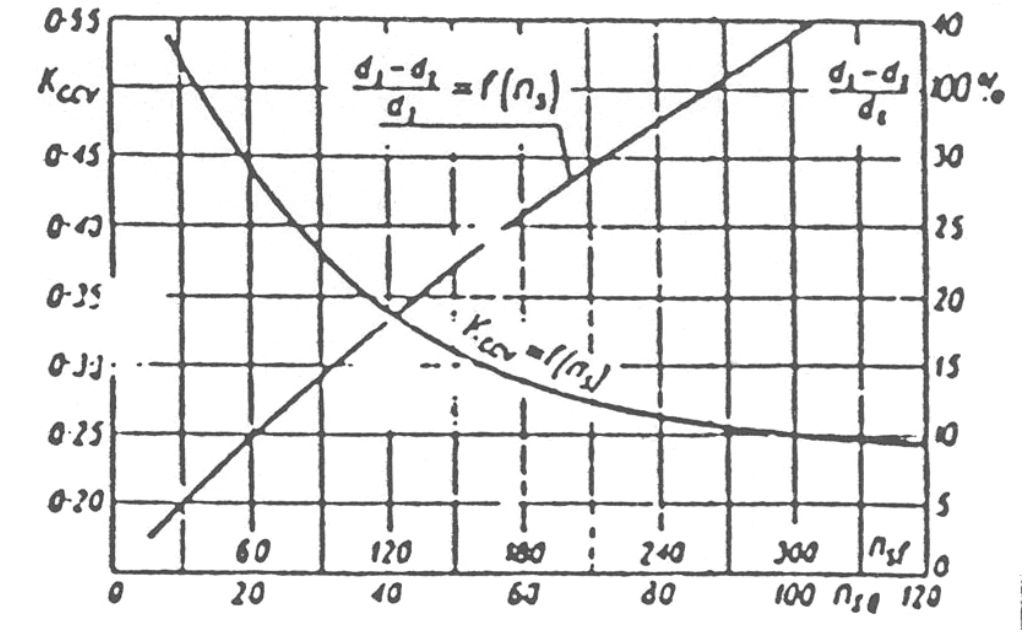
Pada metode ini kecepatan aliran dalam volute dianggapkonstan. Langkah awal dari metode ini dimulai dengan menghitung kecepatan rata-rata dalam volute dengan persamaan:

$$cv = Kcv.\sqrt{2gH}$$

dengan :

cv = kecepatan konstan rata-rata dalam volute

Kcv = koefisien empiris yang memasukkan pengaruh distribusi kecepatan yang tidak uniform serta gesekan dalam volute. Harga Kcv ini dilihat pada grafik hubungan Kcv dengan kecepatan spesifik dibawah ini.



Gambar 3.8. Grafik hubungan Kcv dengan kecepatan spesifik.
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Dari harga kecepatan spesifik Nsq = 32,7, didapat harga Kcv = 0,36.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

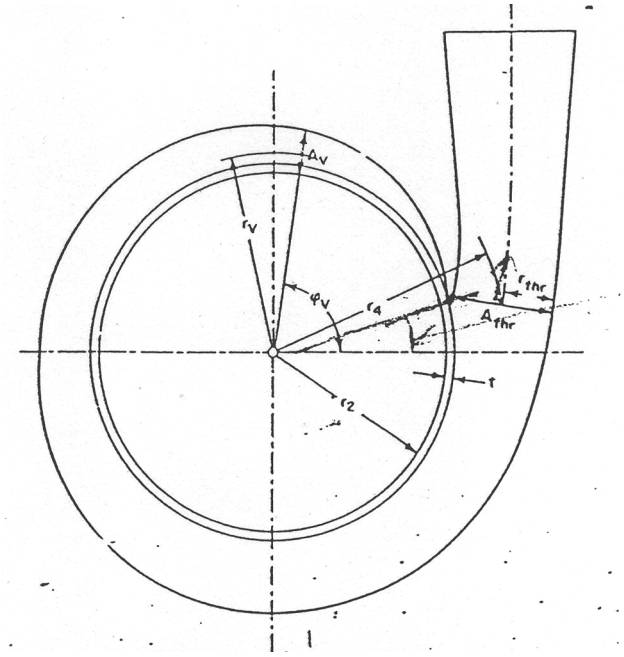
Untuk Kcv = 0,36 dan H = 17 m,

maka :

$$cv = Kcv.\sqrt{2gH}$$

$$= 0{,}36.\sqrt{2.9{,}81.17}$$

$$= 6{,}57 \text{ m/s}$$



Gambar 3.9. Gambar sebuah volute casing

Langkah selanjutnya adalah menghitung luas penampang volute pada throat (Athr) dengan menggunakan persamaan :

$$Athr = \frac{Q}{cv}$$

dengan :

Q = kapasitas aliran pompa

cv = kecepatan rata-rata dalam volute

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

untuk Q = 0,035 m^3/s dan cv = 6,57 m/s

maka :

$$Athr = \frac{0,035}{6,57}$$

$$= 5,327.10^{-3}\ m^2$$

$$= 5327\ mm^2$$

Bentuk penampang volute adalah lingkaran sehingga, jari-jari throat (r_{thr}):

$$r_{thr} = \left(\frac{A_{thr}}{\pi}\right)^{0.5}$$

dengan:

A_{thr} = luas penampang volute

Untuk A_{thr} = 5327 mm^2, maka:

$$r_{thr} = \left(\frac{0,005327}{\pi}\right)^{0.5}$$

$$= 0,041\ m$$

$$= 41\ mm$$

Selanjutnya menentukan jarak r_4, yaitu jarak dari pusat throat ke sumbu poros. Persamaan yang menghubungkannya:

$$r_4 = r_2 + t + r_{thr}$$

Nilai t yang menghasilkan efisiensi tertinggi antara 5% - 10% dari jari-jari impeler. Untuk perencanaan ini diambil 7%, sehingga nilai t adalah:

$$t = 7\%.d_2/2$$

$$= 7\%.r_2$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

t = 7%.122

= 8,54 mm

Untuk r_2 = 122 mm, t = 8,54 mm dan r_{thr} = 41 mm, maka:

r_4 = 122 + 8,54 + 41

= 171,54 mm

Kecepatan rata-rata pada throat (c_{thr}) dapat dicari dengan persamaan:

$$\frac{c_{thr}}{c_{u2}'} = \frac{r_2}{r_4} C$$

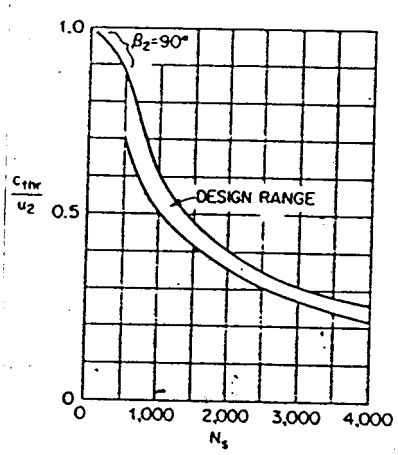
atau :

$$C = \frac{c_{thr} . r_4}{c_{u2}' . r_2}$$

dengan:

C = adalah faktor aliran

C_{thr} = kecepatan aliran pada throat, dimana harga tersebut diperoleh berdasarkan kecepatan spesifik pompa.



Gambar 3.10. Grafik c_{thr}/u_2 terhadap kecepatan spesifik
(Sumber : Igor J. Karasik, 1976)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dengan harga kecepatan spesifik (n_s) =1689,8, maka dari grafik diperoleh harga $c_{thr}/u_2 = 0,36$.

dengan:

u_2 = kecepatan keliling impeler = 18,8 m/s

Untuk u_2 = 18,8 m/s,

maka:

$c_{thr} = 0,36 \times 18,8$

$= 6,768$ m/s

Maka faktor aliran (C) adalah:

$$C = \frac{c_{thr}.r_4}{c_{u2}'.r_2}$$

$$= \frac{6,768x171,54}{10,5x122}$$

$= 0,91$

Untuk mengetahui apakah harga-harga yang telah ditentukan dalam perencanaan volut di atas menjamin efisiensi pompa yang tinggi, maka dilakukan pengecekan terhadap efisiensi. Pengecekan tersebut dengan menggunakan gambar 3.11.

AII adalah luas total sisi keluar antara sudu impeler, yang dihitung dengan persamaan:

$AII \cong b_2 (2 \pi r_2 \sin\beta_2 - z s_2)$

$\cong 20 (2\pi 244 \sin 30^0 - 7.5)$

$= 6965 \text{ mm}^2$

$= 6,9.10^{-3} \text{ m}^2$

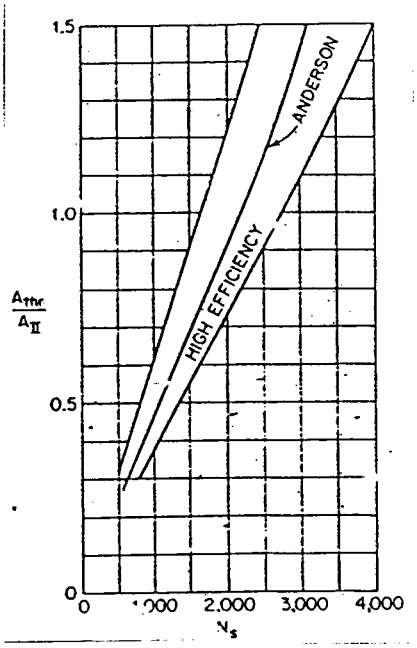
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perbandingan (A_{thr} / AII) adalah:

(A_{thr} / AII) = 5327 / 6965

= 0,76

Dari gambar 3.11 dengan kecepatan spesifik (n_s) =1689,8 dan (A_{thr} / AII) = 0,76 dapat diketahui bahwa perhitungan diatas masih berada pada daerah efisiensi yang tinggi, sehingga harga C_{thr} dapat diterima.



Gambar 3.11. Grafik (A_{thr} / AII) terhadap n_s
(Sumber : Karassik, 1976)

Luas penampang volute untuk bermacam-macam sudut sentral φ_v adalah:

$$A_v = \frac{A_{thr} \cdot \varphi_V}{360^0}$$

Untuk setiap tempat didalam volut berlaku persamaan:

$$c_v = c_{u2}, \frac{r_2}{r_v} C$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dengan asumsi bahwa kecepatan rata-rata aliran konstan, maka harga r_v dan c_v dapat dihitung dengan tabel di bawah ini.

Tabel 3.1. Perhitungan dimensi volut

NO	Derajat φ_v	A_v mm^2	r mm	r_v mm	c_v m/det
1	0	0.000	0.000	130,54	8,929
2	45	665.875	14.559	145,099	8,034
3	90	1331.75	20.589	151,129	7,713
4	135	1997.625	25.216	155,756	7,484
5	180	2663.500	29.117	159,657	7,301
6	225	3329.375	32.554	163,094	7,147
7	270	3995.250	35.661	166,201	7,014
8	315	4661.125	38.519	169,059	6,895
9	360	5327.000	41.178	171,718	6,788

Untuk menggambar rancangan volut, maka harus ditentukan terlebih dahulu sudut lidah (titik nol) atau titik dimana sudut φ_t mulai diukur. Sudut lidah dapat dicari dengan persamaan:

$$\varphi_t = \frac{132 \log r_1 / r_2}{\tan \alpha_2'}$$

$$= \frac{132 \log \frac{r_2 + t}{r_2}}{\tan \alpha_2'}$$

dengan:

$\tan \alpha_2' = cm_2 / cu_2$

Untuk cm_2 = 2,37 m/s dan cu_2 = 14,7 m/s, maka:

$\tan \alpha_2' = 2,37 / 14,7$

$= 0,16$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\varphi_t = \frac{132 \log \frac{122 + 8{,}54}{122}}{0{,}16}$$

$$= 24{,}2^0$$

3.2.4. Perhitungan Lebar Inlet Volut

Lebar inlet volut b_3 harus lebih besar dari pada lebar outlet impeler b_2. Perbandingan b_3/b_2 antara 1,4 – 1,8.

Sehingga :

$b_3 = 1{,}5\ b_2$

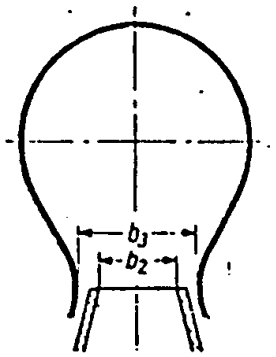
dengan:

b_2 adalah lebar sisi keluar impeler + tebal shroud belakang

maka:

$b_3 = 1{,}5\ (\ 20 + 12\ )$

$= 48$ mm

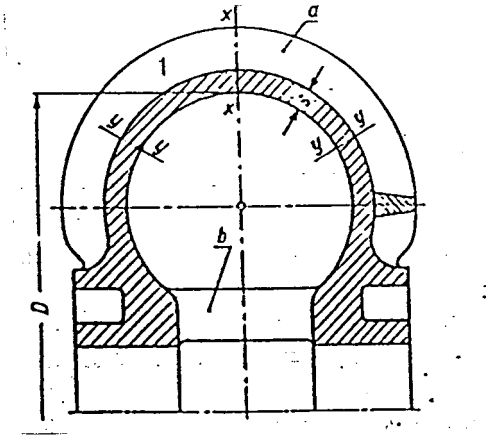


Gambar 3.12 Penampang laluan volut
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.5. Perhitungan Ketebalan Volut

Bahan yang dipakai untuk rumah pompa dipilih SCS 13 (JIS G 5121) dengan kekuatan tarik σ = 44 kg/mm^2.



Gambar 3.13. Tebal penampang recuperator
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Untuk menentukan ketebalan minimum rumah volut dihitung dengan persamaan:

$$S = xy\ \frac{d.p}{200.\sigma} + z$$

dengan:

S = tebal dinding volut, mm

d = diameter melintang yang terbesar

= $r_{(180)} + r_{v(180)} + r_{(360)} + r_{v(360)}$

= 29,117 + 159,657 + 41,178 + 171,718

= 401,67 mm

p = tekanan pada laluan (kg/cm^2)

= γ.H

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk berat jenis ethilyn glikol γ = 1050 kg/m^3 dan H = 17 m, maka:

p = 1050 x 50 = 17850 kg/m^2 = 1,785 kg/cm^2

x = factor keamanan = 4,5

y = koefisien yang tergantung profil volut, untuk profil lingkaran = 1,6

z = toleransi ketidaktelitian dalam pengecoran = (2 – 3 mm)

σ = tegangan tarik material = 44 kg/mm^2

sehingga :

$$S = 4{,}5 \times 1{,}6 \times \frac{401{,}67 x 1{,}785}{200 x 44} + 3$$

= 3,6 mm

Jadi ketebalan recuperator minimum diambil 4 mm.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV

PERENCANAAN POROS DAN KOMPONEN PENDUKUNG

Poros pada pompa sentrifugal berfungsi untuk meneruskan daya yang dihasilkan motor penggerak ke impeller.Dalam perhitungan awal diameter poros hanya didasarkan pada momen torsi, belum memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja secara menyeluruh. Gaya-gaya tersebut adalah gaya-gaya aksial dan gaya radial.

4.1. Gaya Aksial

4.1.1 Gaya Aksial Akibat Perbedaan Momentum Fluida

Pada pompa yang mempunyai impeler dengan saluran masuk tunggal, akan timbul suatu gaya yang disebut gaya aksil. Gaya aksial ini terjadi akibat perbedaan tekanan fluida saat memasuki impeler. Gaya aksial yang terjadi didekati dengan persamaan:

$F_{a1} = K_a.P.A_o'$

dengan :

K_a = koefisien eksperimental, yang besarnya tergantung pada kecepatan spesifik kinematik (N_{sq}) dari impeler

P = head tekanan yang dihasilkan pompa (kg/cm^2)

Ao = luas sisi masuk impeler

F_1 = gaya aksial akibat Δ momentum (kg)

Tabel 4.1. Harga koefisien eksperimental untuk berbagai harga N_{sq}

Nsq	20	30	40	55	70	90	110	130	170	200
Ka	1,85	1,68	1,55	1,41	1,31	1,22	1,15	1,06	1,01	0,98

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk Nsq = 32,7 maka Ka = 1,65 (dengan interpolasi), H = 17 m, do = 149 mm dan $\gamma = 1050$ kg/m^3 , maka:

$P = \gamma.H$

$= 1050 \times 17$

$P = 17850$ kg/m^2

$= 1{,}785$ kg/cm^2

$Ao = \frac{\pi}{4}.(do^2 - dh^2)$

$= \frac{\pi}{4}(149^2 - 39^2)$

$= 16242$ mm^2 $= 162{,}42$ cm^2

Sehingga:

$F_{a1} = 1{,}65 \times 1{,}785 \times 162{,}42$

$= 478{,}37$ kg

Arah gaya aksial yang terjadi melawan aliran fluida masuk impeler, perubahan arah aliran fluida sebesar 90^0 dari aksial menjadi radial dan menimbulkan gaya F_2 yang bekerja pada impeler dan berlawanan arah F_1, yaitu:

(Stepanoff, 1986):

$$F_{a2} = \left(\frac{W}{g}\right).cm = Ao.cm_1{}^2\left(\frac{\gamma}{g}\right)$$

dengan:

cm_1 : kecepatan meridian sisi masuk

Ao : luas sisi masuk impeler

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

γ : berat jenis fluida yang dipompakan

g : percepatan grafitasi

Untuk cm_1 = 3,1 m/s, Ao = 16242 mm^2, g = 9,81 m/s^2

$$F_{a2} = Ao.cm_1^2\left(\frac{\gamma}{g}\right)$$

$$= 0{,}016242 \text{ x } 3{,}1^2\left(\frac{1050}{9{,}81}\right)$$

= 16,7 kg

Arah gaya aksial F_{a2} adalah searah aliran fluida masuk impeler. Dengan demikian gaya aksial total yang terjadi pada sisi masuk impeler adalah:

$$Fa = F_{a1} - F_{a2}$$

Untuk F_{a1} = 478,37 kg dan F_{a2} =16,7 kg, maka:

Fa = 478,37 – 16,7

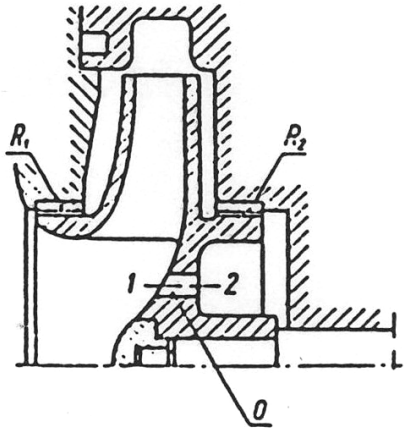
= 461,67 kg

Arah gaya resultan ini menuju sisi isap impeler. Untuk mengimbangi gaya aksial ini digunakan beberapa metode, yaitu:

1. Memasang dua buah cincin (wearing ring) yang sama besar diameternya yaitu cincin R_1 dan R_2 sebagaimana tampak pada gambar 5.1.
2. Melubangi impeler sehingga sisi masuk impeler dan sisi belakang terhubung. Lubang ini bisa membalans tekanan di kedua sisi impeler. Direncanakan ada 7 buah lubang dengan diameter 5 mm, untuk mengimbangi gaya aksial yang terjadi.

Gaya aksial belumlah seluruhnya bisa dibalans karena tekanan di sisi belakang lebih besar. Untuk itu digunakan jenis bantalan yang mampu menahan gaya aksial ini.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 4.1. Impeler dengan cincin R_1 dan R_2 dengan lubang penyeimbangan O
(Sumber : Lazarkiewiccs, 1965)

4.2. Gaya Radial

4.2.1. Gaya Radial Dinamis

Gaya radial dinamis yang diterima poros disebabkan oleh adanya distribusi tekanan volute yang tidak merata. Gaya ini akan menyebabkan bertambahnya defleksi poros pada pompa horisontal, terlepas dari akibat adanya beban mati akibat dari bagian pompa yang membebani poros. Besarnya gaya radial dinamis dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F_{rd} = K_r.p.d_2.b_2$$

dengan:

F_{rd} : gaya radial dinamis (kp)

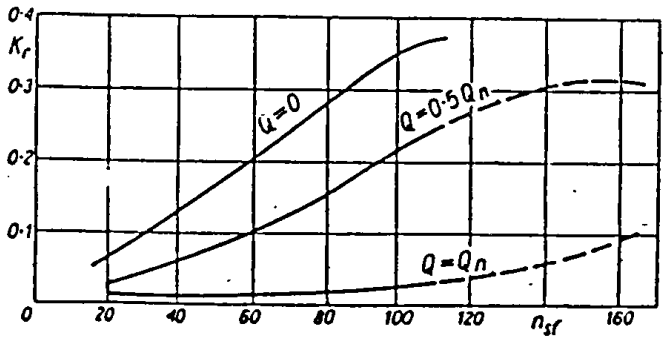
K_r : koefisien experimental, yang besarnya tergantung pada bilangan bentuk (N_{sf}) pada Q = Qn

P : tekanan yang dihasilkan pompa

d_2 : diameter sisi keluar impeler

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b_2' : lebar total impeler pada sisi keluar



Gambar 4.2. Koefisien Gaya Radial, Kr sebagai fungsi Nsf dan kapasitas
(Sumber : Lazarkiewicz, 1965)

Untuk Nsf = 98,77 dari grafik diatas didapat harga Kr = 0,025, P = 1,785 kg/cm^2, d_2 = 244 mm dan b_2 = 20 mm, maka:

$F_{rd} = K_r.P.d_2.b_2$

= 0,025 x 1,785 x 24,4 x 2

= 2,18 kg

4.2.2. Gaya Radial Statis

Gaya radial statis yang bekerja pada poros disebabkan oleh berat impeler dan berat poros itu sendiri.

4.2.2.1. Berat Impeler

Untuk menghitung berat impeler dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

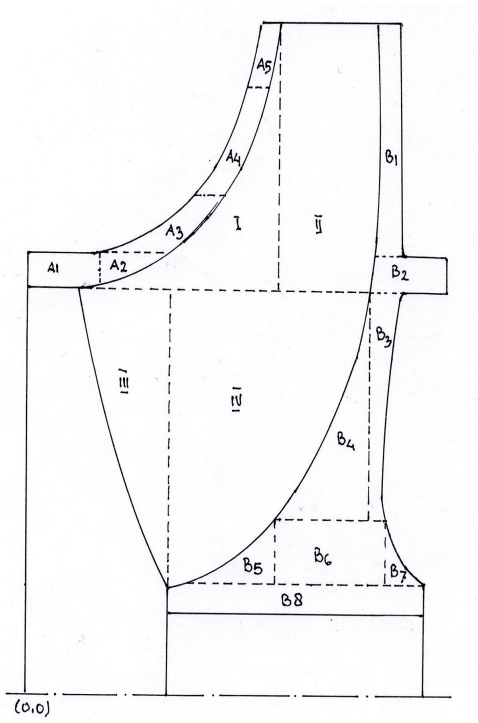
a. Bagian dinding selimut depan (shroud depan)

b. Bagian dinding selimut belakang (shroud belakang)

c. Bagian sudu impeler

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Agar mudah dalam perhitungan berat ini, impeler dibagi menjadi beberapa segmen seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.3. Profil impeler sisi samping dengan segmen-segmen pembaginya

Dari gambar di atas dapat dihitung volume tiap-tiap bagian impeler. Volume impeler dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V = \pi . \int_{x1}^{x2} \left(y_2^2 - y_1^2 \right) dx$$

1. Menghitung volume shroud impeler (V_{sh})

- Volume shroud depan

a. Volume daerah A1

x1 = 74 mm y1 = 0

x2 = 80 mm y2 = 20

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$V_{A1} = \pi . \int_{74}^{80} \left(20^2 - 0^2\right) dx$$

$$= 2.400\ \pi\ mm^3$$

b. Volume daerah A2

x1 = 74 mm y1 = 20

x2 = 80 mm $y2 = -0{,}004x^2 + 0{,}6x + 68{,}4$

$$V_{A2} = \pi . \int_{74}^{80} [(-0{,}004x^2 + 0{,}6x + 68{,}4)^2 - 20^2]\ dx$$

$$= 88.492{,}9\ \pi\ mm^3$$

c. Volume daerah A3

x1 = 80 mm $y1 = 0{,}01x^2 + 0{,}1x + 70$

x2 = 90 mm $y2 = 0{,}0227x^2 - 0{,}09x + 50{,}276$

$$V_{A3} = \pi . \int_{80}^{90} [(0{,}0227x^2 - 0{,}09x + 50{,}276)^2 - (0{,}01x^2 + 0{,}1x + 70)^2] dx$$

$$= 193.155\ \pi\ mm^3$$

d. Volume daerah A4

x1 = 90 mm $y1 = 0{,}056x^2 - 2{,}72x + 110$

x2 = 110 mm $y2 = 0{,}008x^2 - 3{,}91x + 76{,}52$

$$V_{A4} = \pi . \int_{90}^{110} [(0{,}008x^2 - 3{,}91x + 76{,}52)^2 - (0{,}056x^2 - 2{,}72x + 110)^2] dx$$

$$= 206.632\ \pi\ mm^3$$

e. Volume daerah A5

x1 = 110 mm y1 = 50

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

x2 = 122 mm y2 = 55

$$V_{A5} = \pi . \int_{110}^{122} [(55^2 - 50^2)] \, dx$$

$$= 6.300 \, \pi \text{ mm}^3$$

$$V_{Atotal} = V_{A1} + V_{A2} + V_{A3} + V_{A4} + V_{A5}$$

$$= (2.400 + 88.492,9 + 193.155 + 206.632 + 6.300)$$

$$= 496.979,9 \, \pi$$

- Volume shroud belakang

a. Volume daerah B1

x1 = 80 mm y1 = 75

x2 = 122 mm y2 = 80

$$V_{B1} = \pi . \int_{122}^{80} \left(80^2 - 75^2\right) dx$$

$$= 32.550 \, \pi \text{ mm}^3$$

b. Volume daerah B2

x1 = 74 mm y1 = 74

x2 = 80 mm y2 = 90

$$V_{B2} = \pi . \int_{74}^{80} (90^2 - 74^2] \, dx$$

$$= 15.744 \, \pi \text{ mm}^3$$

c. Volume daerah B3

x1 = 32 mm y1 = 73

x2 = 74 mm y2 = $-2x^2 + 324x - 13040$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$V_{B3} = \pi . \int_{32}^{74} [(-2x^2 - 324x - 13040)^2 - (70)^2] \, dx$$

$$= 53.132 \, \pi \, mm^3$$

d. Volume daerah B4

x1 = 32 mm $y1 = 0{,}102x^2 + 14{,}976x - 1048{,}3$

x2 = 74 mm y2 = 73

$$V_{B4} = \pi . \int_{32}^{74} [(73)^2 - (0{,}102x^2 + 14{,}976x - 1048{,}3)^2] \, dx$$

$$= 397.621 \, \pi \, mm^3$$

e. Volume daerah B5

x1 = 20 mm $y1 = 0{,}015x^2 - 0{,}75x + 30$

x2 = 32 mm y2 = 53

$$V_{B5} = \pi . \int_{20}^{32} [(53)^2 - (0{,}015x^2 - 0{,}75x + 30)^2] \, dx$$

$$= 30.541{,}5 \, \pi \, mm^3$$

f. Volume daerah B6

x1 = 20 mm y1 = 53

x2 = 32 mm y2 = 76

$$V_1 = \pi . \int_{20}^{32} [(76^2 - 53^2)] \, dx$$

$$= 35.604 \, \pi \, mm^3$$

g. Volume daerah B7

x1 = 20 mm y1 = 76

UNIVERSITAS GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

x2 = 32 mm $y2 = 0{,}02x^2 - 1{,}9x + 115$

$$V_{B7} = \pi . \int_{20}^{32} [(0{,}02x^2 - 1{,}9x + 115)^2 - (76)^2] \, dx$$

$= 715.332 \, \pi \, mm^3$

h. Volume daerah B8

x1 = 15 mm y1 = 30

x2 = 20 mm y2 = 85

$$V_{B8} = \pi . \int_{15}^{20} [(85^2 - 30^2)] \, dx$$

$= 31.625 \, \pi \, mm^3$

Volume shroud belakang, adalah:

$V_{Btotal} = V_{B1} + V_{B2} + V_{B3} + V_{B4} + V_{B5} + V_{B6} + V_{B7} + V_{B8}$

$= (32.550 + 15.744 + 53.132 + 397.621 + 30.541{,}5 + 35.604 + 715.332 + 31.625)\pi$

$= 1.312.149{,}5 \, \pi$

Jadi volume shroud yang tergambar adalah:

$V_{sh} = V_{Atotal} + V_{Btotal}$

$= 496.979{,}9 \, \pi + 1.312.149{,}5 \, \pi$

$= 1.809.129{,}4 \, \pi \, mm^3$

2. Menghitung volume sudu impeler (V_{sd})

a. Volume daerah I

x1 = 74 mm $y1 = 0{,}03x^2 - 1{,}4x + 90$

x2 = 122 mm y2 = 55

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$V_I = \pi . \int_{15}^{20} [(55^2 - (0{,}03x^2 - 1{,}4x + 90)^2] \, dx$$

$$= 61.892 \, \pi \, mm^3$$

b. Volume daerah II

x1 = 74 mm y1 = 55

x2 = 122 mm y2 = 75

$$V_{II} = \pi . \int_{15}^{20} [(75^2 - 55)^2] \, dx$$

$$= 124.800 \, \pi \, mm^3$$

c. Volume daerah III

x1 = 21 mm $y1 = 0{,}027x^2 - 2{,}2x + 64{,}29$

x2 = 74 mm y2 = 30

$$V_{III} = \pi . \int_{15}^{20} [(0{,}027x^2 - 2{,}2x + 64{,}29)^2 - (55)^2] \, dx$$

$$= 348.581{,}9 \, \pi \, mm^3$$

d. Volume daerah IV

x1 = 21 mm y1 = 30

x2 = 74 mm $y2 = 0{,}00548x^2 + 0{,}89x + 8{,}8$

$$V_{IV} = \pi . \int_{15}^{20} [(0{,}00548x^2 + 0{,}89x + 8{,}8)^2 - (30)^2] \, dx$$

$$= 78.453{,}5 \, \pi \, mm^3$$

$$V_{SUDUtotal} = V_I + V_{II} + V_{III} + V_{IV}$$

$$= 61.892 \, \pi + 124.800 \, \pi + 348.581{,}9 \, \pi + 78.453{,}5 \, \pi$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$= 613.727{,}4\ \pi$

Karena sudu melengkung ke belakang dengan sudut kelengkungan rata-rata 25^0 dan tebal sudu 5 mm, maka volume total sudu adalah:

$$V_{sd} = \frac{613.727.\pi.5}{\sin 25^0}$$

$= 22.811.132{,}51\ mm^3$

3. Volume balancing holes, V_{bh}

$V_{bh} = 7.\pi.r^2.l$

$= 7.\pi.2^2.37 = 3.253\ mm^3$

Volume total impeler:

$V_i = V_{sh} + V_{SUDUtotal} - V_{bh}$

$= 1.809.129{,}4\ \pi + 22.811.132{,}51 - 3.253$

$= 28.491.427{,}14\ mm^3$

Berat jenis bahan impeler adalah $\gamma = 0{,}32\ lb/in^3 = 8864{,}27\ kg/m^3 = 8{,}864.10^{-6}\ kg/mm^3$, maka berat total impeler adalah (Wi):

$Wi = \gamma.Vi$

$= 28.491.42{,}14 \times 8{,}864.10^{-6}\ kg$

$= 25{,}2\ kg$

Sehingga besarnya gaya radial total (Rr) yang membebani poros akibat impeler adalah:

$Frt = Frd + Frs$

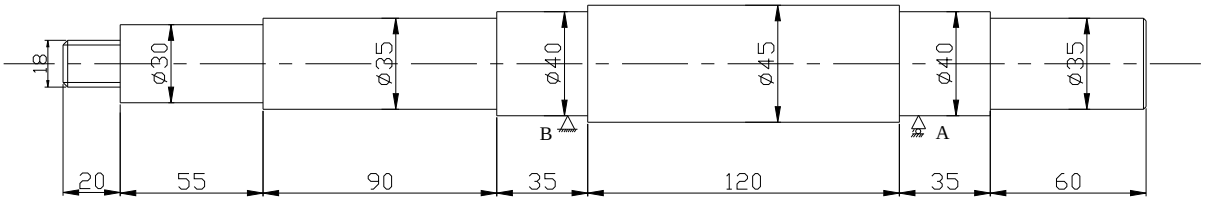
$= 2{,}18 + 25{,}2$

$\approx 28\ kg$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.2.2. Berat Poros

Poros yang direncanakan dibuat dengan konstruksi poros bertingkat. Hal ini bertujuan untuk mempertahankan kekakuan poros serta penyesuaian bagian-bagian pompa seperti: impeler, bantalan, kopling dll. Konstruksi poros yang direncanakan ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 4.4. Konstruksi poros yang direncanakan

Dari gambar 4.4. di atas dapat dihitung berat masing-masing bagian poros. Bahan poros adalah SUS 316 stainless steel dengan JIS G 4304, yang mempunyai tegangan tarik σ_a = 53 kg/mm^2 dengan berat jenis γ = 8.000 kg/m^3 = 8.10^{-6} kg/mm^3. Maka berat masing-masing bagian poros adalah:

$w_1 = \pi/4.35^2.60.8.10^{-6} = 0{,}46$ kg

$w_2 = \pi/4.40^2.35.8.10^{-6} = 0{,}35$ kg

$w_3 = \pi/4.45^2.120.8.10^{-6} = 1{,}53$ kg

$w_4 = \pi/4.40^2.35.8.10^{-6} = 0{,}35$ kg

$w_5 = \pi/4.35^2.90.8.10^{-6} = 0{,}69$ kg

$w_6 = \pi/4.30^2.55.8.10^{-6} = 0{,}31$ kg

$w_7 = \pi/4.24^2.18.8.10^{-6} = 0{,}07$ kg

Maka berat total poros adalah:

$w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_6 + w_7$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

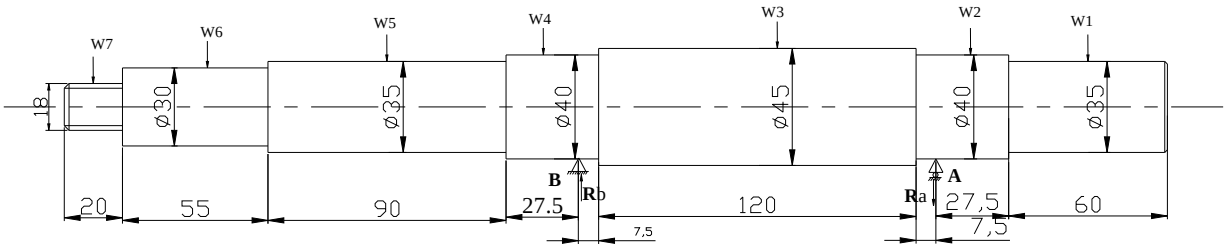
w_{tot} = 0,46 + 0,35 + 1,53 + 0,35 + 0,69 + 0,31 + 0,07

= 3,78 kg

4.3. Pemeriksaan Kekuatan Poros

4.3.1. Momen Lengkung

Pada bagian ini akan menghitung pengaruh momen puntir dan gaya-gaya aksial dan radial. Dengan menganggap beban-beban tersebut adalah beban terpusat, maka arah pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Gaya-gaya dan reaksi yang bekerja pada poros

Berdasarkan Gambar 4.5. di atas dapat diketahui besar reaksi pada bantalan ’a’ (Ra) dan bantalan ’b’ (Rb). Jumlah momen pada bantalan ’a’ adalah nol, Σ Ma = 0, maka reaksi pada bantalan ’b’ adalah:

Σ Ma = 0

= - 0,46(57,5) – 0,35(13,75) + 1,53(67,5) – R_B(135) +

0,35(148,75) + 0,69(207,5) + 28(307,5) + 0,31(280) + 0,07(317,5) = 0

Maka:

R_B = 66,55 kg (↑)

dengan asumsi arah $R_A = R_B$, maka:

Σ Rv = 0

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$\Sigma Rv = Wshaft + Fr - R_A - R_B = 0$

$R_A = Wshaft + Fr - R_B$

$= 3,78 + 28 - 66,55$

$= -34,77$ kg (↓)

Berarti arah R_A sebenarnya berlawanan arah dengan R_B.

Momen lengkung pada masing-masing bagian poros adalah sebagai berikut:

$0 < x < 43,75$ $Mx = -0,46x$

$43,75 < x < 57,5$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75)$

$= -0,81x + 15,3$

$57,5 < x < 125$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5)$

$= -35,6x + 2000,4$

$125 < x < 192,5$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5) - 1,53(x - 125)$

$= -37,13x + 2191,65$

$192,5 < x < 206,25$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5) - 1,53(x - 125) + 66,55(x - 192,5)$

$= 29,44x - 10623$

$206,25 < x < 265$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5) - 1,53(x - 125) + 66,55(x - 192,5) - 0,35\ (x - 206,25)$

$= 29,09x - 10550,8$

$265 < x < 295$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5) - 1,53(x - 125) + 66,55(x - 192,5) - 0,35\ (x - 206,25) - 0,69(x - 265)$

$= 28,4x - 10367,95$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

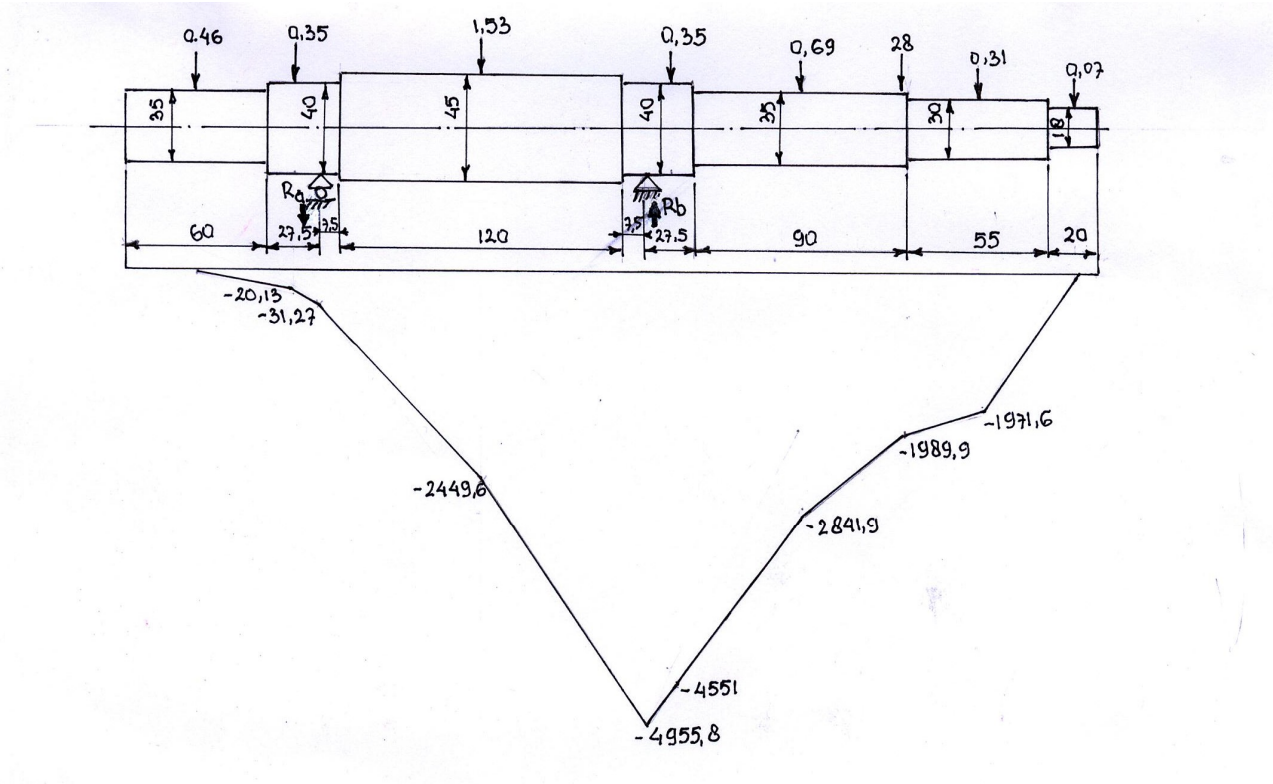
$295 < x < 322,5$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5) - 1,53(x - 125) + 66,55(x - 192,5) - 0,35\,(x - 206,25) - 0,69(x - 265) - 28(x - 295)$

$= 0,4x - 2107,9$

$322,5 < x < 375$ $Mx = -0,46x - 0,35(x - 43,75) - 34,77(x - 57,5) - 1,53(x - 125) + 66,55(x - 192,5) - 0,35\,(x - 206,25) - 0,69(x - 265) - 28(x - 295) - 0,31(x - 340)$

$= 0,09x - 105,4$

Dari persamaan-persamaan Mx untuk tiap-tiap bagian poros tersebut dapat digambarkan Diagram Momen Lengkung (BMD) seperti ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4.6. Diagram Momen Lengkung (BMD)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari gambar di atas dapat diketahui momen lengkung terbesar = 4955,8 kg mm.

Perhitungan gaya geser pada setiap bagian poros adalah sebagai berikut:

$30 < x < 43,75$ $Sx = - 0,46$ kg

$43,75 < x < 57,5$ $Sx = - 0,46 – 0,35$

$= - 0,81$ kg

$57,5 < x < 125$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 34,77$

$= - 35,6$ kg

$125 < x < 192,5$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 34,77 – 1,53$

$= - 37,13$ kg

$192,5 < x < 206,25$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 34,77 – 1,53 + 66,55$

$= 29,42$ kg

$206,25 < x < 265$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 34,77 – 1,53 + 66,55 – 0,35$

$= 29,07$ kg

$265 < x < 295$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 34,77 – 1,53 + 66,55 – 0,35 – 0,69$

$= 28,38$ kg

$295 < x < 322,5$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 34,79 – 1,53 + 66,55 – 0,35 – 0,69 – 28$

$= 0,38$ kg

$322,5 < x < 375$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 32,42 – 1,53 + 66,55 – 0,35 – 0,69 – 0,31 -$

$28 – 0,31$

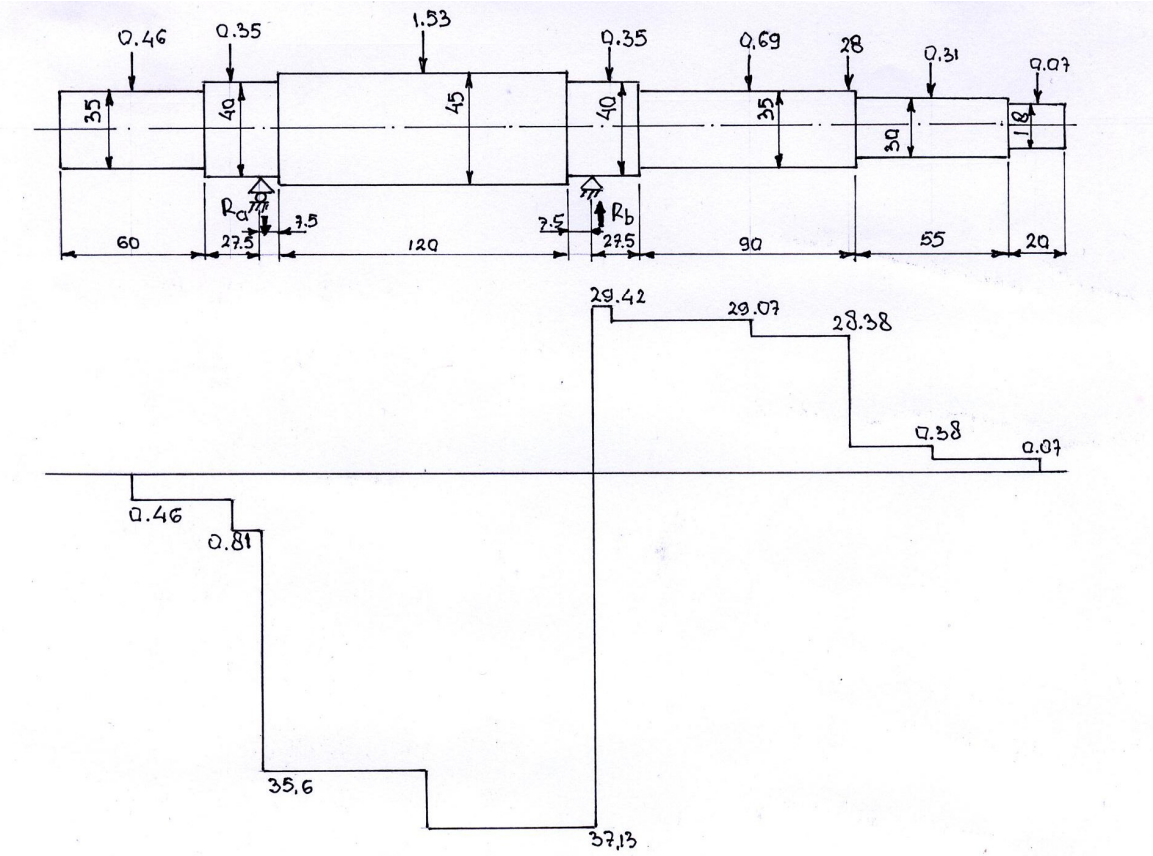
$= 0,07$ kg

$375 < x < 375$ $Sx = - 0,46 – 0,35 – 32,42 – 1,53 + 66,55 – 0,35 – 0,69 – 0,31 -$

$28 – 0,31 – 0,07 = 0$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Diagram gaya-gaya geser yang diderita poros ditampilkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 4.7. Diagram Gaya Geser pada Poros (SFD)

4.3.2. Pengecekan Tegangan Geser

Pengecekan terhadap tegangan geser dapat dicari dengan persamaan:

$$\tau_{sm} = \frac{16}{\pi . d_s^3} \sqrt{(K_m . M)^2 + (K_t . T)^2}$$

dengan:

K_m = faktor koreksi momen lengkung (1,0 – 2,0)

d_{sh} = diameter poros

M = momen lengkung (kg.mm)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

K_t = faktor koreksi momen puntir (1,0 – 1,5)

T = momen puntir (kg.mm)

Untuk d_s = 30 mm, M = 4955,8 kgmm dan T = 7288,4 kg.mm, maka:

$$\tau_{sm} = \frac{16}{\pi.30^3}\sqrt{(2x4955{,}8)^2 + (1{,}5x7288{,}4)^2}$$

$= 3{,}74$ kg/mm^2

Bahan poros yang dipakai SUS 316 JIS G 4304 dengan kekuatan tarik τ_B = 53 kg/mm^2. Besarnya tegangan geser yang diijinkan pada poros telah dihitung di depan, yang besarnya $\tau_a = 4{,}417$ kg/mm^2.

Terlihat bahwa $\tau_a > \tau_{sm}$ sehingga poros yang direncanakan aman terhadap tegangan geser yang terjadi.

4.3.3. Defleksi

Defleksi yang terjadi pada poros ada dua macam yaitu defleksi puntiran akibat beban puntir dan defleksi lengkungan akibat momen lengkung.

4.3.3.1. Defleksi Puntiran

Akibat momen puntir T = 7288,4 kg.mm yang bekerja pada poros akan mengakibatkan defleksi puntiran. Harga defleksi puntiran pada poros mesin dengan kondisi kerja normal dibatasi 1 derajat. Besarnya defleksi puntiran ini dicari menggunakan persamaan:

$$\theta = \frac{T.L}{G.J}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan:

T = momen puntir pada poros (kg.mm)

L = panjang poros yang menerima puntiran

G = modulus geser bahan poros

J = momen inersia polar poros

untuk J = $\frac{\pi}{32} d_{sh}$

Persamaan defleksi puntiran (θ) tersebut, dapat ditulis dalam bentuk:

$$\theta = \frac{T}{K_t}$$

dengan :

K_t : konstanta pegas puntir untuk panjang poros terbatas (kg.mm/rad)

untuk $K_t = \frac{G.J}{L}$

Bahan poros stainles steel dari tabel (terlampir) mempunyai harga modulus geser, G = 193 Gpa ($19{,}67.10^3$ kg/mm^2).

Untuk poros bertingkat, K_t dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{K_t} = \frac{1}{K_{t1}} + \frac{1}{K_{t2}} + \frac{1}{K_{t4}} + \frac{1}{K_{t5}} + ...$$

dengan:

$$Kti = \frac{G.J_i}{L_i}$$

maka diperoleh:

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\frac{1}{K_{t1}} = \frac{55}{(\pi/32.30^4)19{,}67.10^3} = 3{,}5.10^{-8}$$

$$\frac{1}{K_{t2}} = \frac{90}{(\pi/32.35^4)19{,}67.10^3} = 3{,}1.10^{-8}$$

$$\frac{1}{K_{t3}} = \frac{35}{(\pi/32.40^4)19{,}67.10^3} = 7{,}07.10^{-9}$$

$$\frac{1}{K_{t4}} = \frac{120}{(\pi/32.45^4)19{,}67.10^3} = 1{,}5.10^{-8}$$

$$\frac{1}{K_{t5}} = \frac{35}{(\pi/32.40^4)19{,}67.10^3} = 3{,}1.10^{-8}$$

$$\frac{1}{K_{t6}} = \frac{60}{(\pi/32.35^4)19{,}67.10^3} = 2{,}06.10^{-8}$$

Diperoleh:

$$\text{Kti} = \frac{1}{1{,}4.10^{-7}}$$

$$= 7{,}2.10^6 \text{ kg.mm/rad}$$

Sehingga besarnya defleksi puntiran (θ) adalah:

$$\theta = \frac{T}{K_t}$$

$$= \frac{7288{,}4}{7{,}2.10^6}$$

$$= 0{,}001 \text{ rad} = 0{,}06^0$$

Defleksi puntiran yang terjadi lebih kecil dari harga maksimum, maka poros ini aman terhadap beban puntir.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.3.3.2. Defleksi Lengkung

Besarnya defleksi lenturan y (mm) yang disebabkan oleh momen lengkung dapat dihitung dengan persamaan:

$$y = 3{,}23.10^{-4}\left[\frac{F.L_2^2.L_1^2}{d_s^4.L}\right]$$

dengan:

F : beban pada titik terjadinya momen maksimum pada poros

L : jarak antara bantalan penumpu

$L_{1,2}$: jarak dari bantalan bersangkutan ke titik pembebanan

Untuk F = 37,13 kg, L = 120 mm, L_1 = 67,5 mm dan L_1 = 67,5 mm, maka:

$$y = 3{,}23.10^{-4}\left[\frac{F.L_2^2.L_1^2}{d_s^4.L}\right]$$

$$y = 3{,}23.10^{-4}\left[\frac{37{,}13x67{,}5^2 67{,}5^2}{30^4 135}\right]$$

$$= 2{,}28.10^{-3} \text{ mm}$$

Defleksi yang diderita poros dalam dalam batas wajar y < 0,3 – 0,35 mm, sehingga poros yang dirancang aman dan baik.

4.3.4. Pengecekan Tegangan Akibat Poros Bertingkat

Pemeriksaan pengaruh konsentrasi tegangan pada poros bertingkat dilakukan dengan terlebih dahulu mencari jari-jari filet pada poros, yaitu:

$$r' = \frac{(D - ds)}{2}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$r' = \frac{35-30}{2}$$

$$= 2,5$$

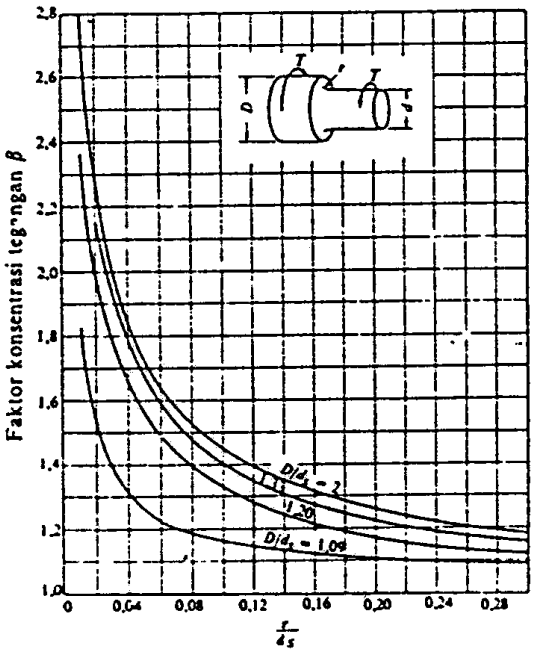
Dengan menggunakan data dan perhitungan di atas maka dapat ditentukan:

$$\frac{r}{d_s} = \frac{2,5}{30}$$

$$= 0,08$$

$$\frac{D}{ds} = \frac{35}{30}$$

$$= 1,167$$



Gambar 4.8. Grafik penentuan faktor konsentrasi tegangan
(Sumber : Sularso, 1980)

Harga faktor konsentrasi tegangan untuk poros bertngkat, dapat dicari dengan menggunakan gambar 4.8. Sehingga untuk $\frac{r}{d_s}$ = 0,08 dan $\frac{D}{ds}$ = 1,167 diperoleh harga konsentrasi tegangan β = 1,4.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Besarnya tegangan geser yang terjadi akibat momen torsi dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\tau_s = \frac{16.T}{\pi.ds^3}$$

$$= \frac{16.7288,4}{\pi.30^3}$$

$$= 1,37 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan geser yang terjadi akibat poros bertingkat dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\tau_s' = \tau_s.K_t.C_b$$

dengan:

K_t : koreksi terhadap momen puntir (1,3 – 3), diambil 1,5

C_b : koreksi terhadap momen lentur (1,2 – 2,3), diambil 1,3

maka:

$$\tau_s' = 1,37 \text{ x } 1,5 \text{ x } 1,3$$

$$= 2,68 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan geser yang diijinkan setelah dikoreksi dengan faktor konsentrasi tegangan adalah:

$$\tau_s^* = \frac{\tau_a.S_{f2}}{\beta}$$

dengan:

τ_a : tegangan geser poros yang diijinkan, $\tau_a = 4,417 \text{ kg/mm}^2$

S_{f2} : faktor keamanan, diambil 2

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

maka:

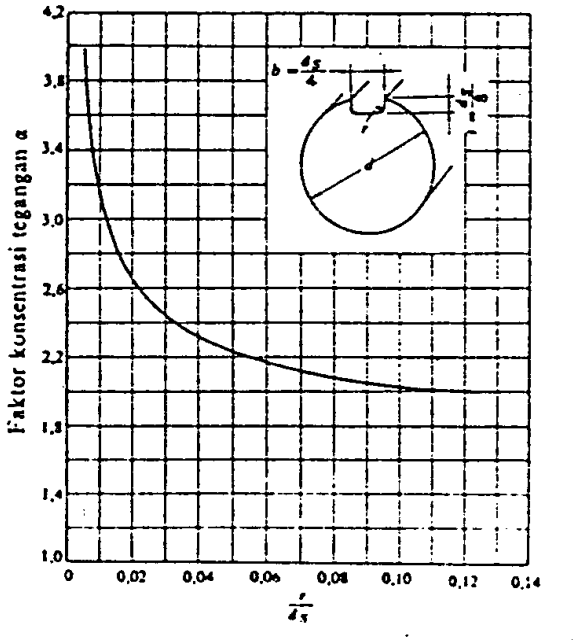
$$\tau_s^* = \frac{4{,}417x2}{1{,}4}$$

$$= 6{,}3 \text{ kg/mm}^2$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa tegangan geser yang diijinkan setelah dikoreksi dengan faktor konsentrasi tegangan (τ_s^*) lebih besar dari pada tegangan geser akibat poros bertingkat (τ_s'), jadi poros aman.

4.3.5. Pengecekan Tegangan Pada Alur Pasak

Faktor konsentrasi tegangan akibat alur pasak dapat dicari dengan gambar 4.9, dari gambar untuk $r_f/ds = 2{,}5/30 = 0{,}08$ didapatkan faktor konsentrasi tegangan (α) = 2,1.



Gambar 4.9. Faktor konsentrasi tegangan akibat alur pasak
(Sumber : Sularso, 1980)

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari perhitungan sebelumnya diketahui tegangan geser akibat momen puntir pada poros dengan diameter 30 mm, τ_s' = 2,44 kg/mm^2. Sedangkan tegangan geser yang diijinkan akibat adanya alur pasak setelah dikoreksi dengan faktor konsentrasi tegangan (α) adalah:

$$\tau_s{*}' = \frac{\tau_a . S_{f2}}{\alpha}$$

$$= \frac{4{,}417.2}{2{,}1}$$

$$= 4{,}2 \text{ kg/mm}^2$$

Terlihat $\tau_s{*}' > \tau_s'$, maka poros aman terhadap adanya gaya geser.

4.3.6. Pengecekan Terhadap Putaran Kritis

Putaran kritis adalah kecepatan yang menyebabkan terjadinya getaran yang kuat pada poros. Gejala ini terjadi bila putaran mesin dinaikkan secara perlahan-lahan, maka pada suatu kecepatan tertentu poros dapat bergetar kuat. Sedangkan pada kecepatan di atas atau di bawah putaran ini akan beroperasi relatif normal.

Bila suatu unit mesin beroperasi pada kecepatan kritis, getaran dengan amplitudo yang besar akan menyebabkan terjadinya gesekan dengan bagian-bagian yang berputar dan getaran yang tidak didinginkan akan dipindahkan ke tumpuan.

Putaran kritis suatu konstruksi poros dapat didekati dengan persamaan:

$$\text{Nc} = 52700 \frac{d_{sh}^2}{L1L2}\left[\frac{L}{W}\right]^{1/2}$$

dengan:

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

W : berat elemen yang berputar

$L_{1,2}$: jarak elemen ke bantalan

Untuk beberapa elemen yang berputar maka putaran kritis keseluruhan sistem N_{co} adalah:

$$\frac{1}{N_{co}^2} = \Sigma \frac{1}{N_{ci}^2}$$

Tabel 4.2. Putaran kritis masing-masing elemen N_{ci} dan keseluruhan sistem N_{co} dalam rpm

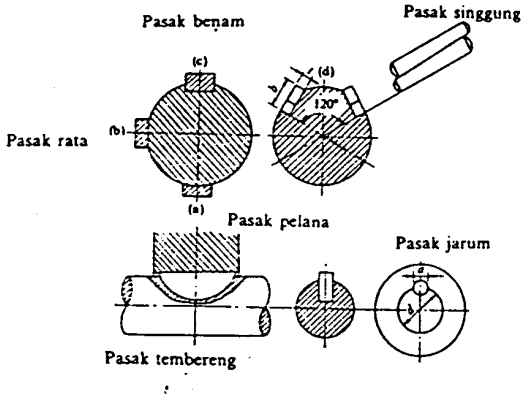
NO	Elemen	W (kg)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	N_{cl}	N_{cl}^{-2}
1	Impeler	25,2	307,5	172,5	13797,29	5,25E-9
2	Poros 1	0,46	57,5	192,5	66610,82	2,25E-10
3	Poros 2	0,35	13,75	148,75	412259,7	5,88E-12
4	Poros 3	1,53	67,5	67,5	207430,67	2,32E-11
5	Poros 4	0,35	148,75	13,75	412259,7	5,88E-12
6	Poros 5	0,69	207,5	72,5	49010,33	4,16E-11
7	Poros 6	0,31	145	280	15560,69	4,16E-09
8	Poros 7	0,07	182,5	317,5	8855,02	1,28E-8
					ΣN_{ci}^{-2} =	2,27E-8
					N_{co} =	6633,8

Putaran kerja motor 1470 rpm masih dibawah harga putaran kritis yang terjadi, sehinggga poros yang didesain aman terhadap putaran kritis.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4. Perencanaan Pasak

Pasak adalah suatu elemen mesin yang digunakan untuk menetapkan bagian-bagian mesin seperti roda gigi, sprocket, kopling dll. Bentuk pasak ini bisa beraneka ragam, diantaranya seperti tampak dalam gambar di bawah ini.



Gambar 4.10. Macam-macam Pasak
(Sumber : Sularso, 1980)

Dalam perencanaan ini dipilih jenis pasak benam, karena mampu meneruskan momen yang besar dan bisa dipasang baik pada kopling maupun impeler.

4.4.1. Perencanaan Pasak Pengikat Impeler

Untuk menentukan besaran pada pasak diambil dari tabel ukuran pasak dan alur pasak (Sularso, 1987) di bawah ini.

Dari tabel pemilihan pasak di atas diperoleh dimensi pasak sebagai berikut:

- Diameter poros = 30 mm
- Dimensi pasak, b x h = 8 x 7 mm
- Jari jari fillet, C = 0,4 mm
- Kedalaman alur pasak pada poros, t_1 = 4 mm

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Kedalaman alur pasak pada impeler, t_2 = 3,3 mm

- Panjang pasak (l) = 40 mm

Tabel 4.3. Ukuran Pasak dan Alur Pasak

Ukuran-ukuran utama (Satuan: mm)

Ukuran nominal pasak $b \times h$	Ukuran standar b, b_1, dan b_2	Ukuran standar h: Pasak prismatis / Pasak luncur	Ukuran standar h: Pasak tirus	C	l*	Ukuran Standar t_1	Ukuran standar t_2: Pasak prismatis	Ukuran standar t_2: Pasak luncur	Ukuran standar t_2: Pasak tirus	r_1 dan r_2	Referensi: Diameter poros yang dapat dipakai d**
2 × 2	2	2		0,16–0,25	6–20	1,2	1,0		0,5	0,08–0,16	Lebih dari 6–8
3 × 3	3	3			6–36	1,8	1,4		0,9		" 8–10
4 × 4	4	"			8–45	2,5	1,8		1,2		" 10–12
5 × 5	5	5			10–56	3,0	2,3		1,7		" 12–17
6 × 6	6	6		0,25–0,40	14–70	3,5	2,8		2,2	0,16–0,25	" 17–22
(7 × 7)	7	7	7,2		16–80	4,0	3,0	3,5	3,0		" 20–25
8 × 7	8	7			18–90	4,0	3,3		2,4		" 22–30
10 × 8	10	8		0,40–0,60	22–110	5,0	3,3		2,4	0,25–0,40	" 30–38
12 × 8	12	8			28–140	5,0	3,3		2,4		" 38–44
14 × 9	14	9			36–160	5,5	3,8		2,9		" 44–50
(15 × 10)	15	10	10,2		40–180	5,0	5,0	5,5	5,0		" 50–55
16 × 10	16	10			45–180	6,0	4,3		3,4		" 50–58
18 × 11	18	11			50–200	7,0	4,4		3,4		" 58–65
20 × 12	20	12		0,60–0,80	56–220	7,5	4,9		3,9	0,40–0,60	" 65–75
22 × 14	22	14			63–250	9,0	5,4		4,4		" 75–85
(24 × 16)	24	16	16,2		70–280	8,0	8,0	8,5	8,0		" 80–90
25 × 14	25	14			70–280	9,0	5,4		4,4		" 85–95
28 × 16	28	16			80–320	10,0	6,4		5,4		" 95–110
32 × 18	32	18			90–360	11,0	7,4		6,4		" 110–130

* l harus dipilih dari angka-angka berikut sesuai dengan daerah yang bersangkutan dalam tabel.
6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320. 360. 400.

(Sumber : Sularso, 1980)

Bahan pasak diambil dari SUS 316 JIS G 4304 didapat kekuatan tarik, σ_B = 53 kg/mm^2.

Gaya tangensial pada permukaan poros (F_t):

$$F_t = \frac{T}{(d_s / 2)}$$

Untuk diameter poros d_s = 30 mm dan T = 7288,4 kg.mm, maka:

$$F_t = \frac{7288,4}{(30/2)}$$

$$= 485,9 \text{ kg}$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tegangan geser yang terjadi, τ_k dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\tau_k = \frac{Ft}{b.l}$$

Untuk tinggi pasak b = 8 mm dan lebar pasak l = 40 mm, maka:

$$\tau_k = \frac{485,9}{8.40}$$

$$= 1,5 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan geser yang diijinkan (τ_{ka}) dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{ka} = \frac{\sigma_t}{S_{f1} x S_{f2}}$$

dengan:

σ_t = tegangan tarik dari bahan

S_{f1} = faktor keamanan terhadap puntir

S_{f2} = faktor keamanan terhadap konsentrasi tegangan

untuk $\sigma_t = 53 \text{ kg/mm}^2$, $S_{f1} = 6$ dan $S_{f2} = 3$

maka:

$$\tau_{ka} = \frac{53}{6x3}$$

$$= 2,9 \text{ kg/mm}^2$$

Dari hitungan diatas terlihat bahwa tegangan geser yang terjadi lebih kecil dari tegangan geser yang diijinkan, $\tau_k = 1,5 \text{ kg/mm}^2 < \tau_{ka} = 2,9 \text{ kg/mm}^2$.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.2. Pasak Untuk Kopling

Dimensi pasak penetap kopling yang direncanakan adalah:

1. Diameter poros = 35 mm
2. Dimensi pasak, bxh = 10 x 8 mm
3. Panjang pasak (l) = 40 mm
4. Kedalaman alur pasak pada poros (t_1) = 5 mm
5. Kedalaman alur pasak pada naf (t_2) = 3,3 mm
6. Jari-jari filet (r) = 0,5 mm

Gaya tangensial yang diderita oleh pasak kopling dihitung dengan persamaan:

$$F_t = T / (d_{sh}/2)$$

dengan:

T : momen torsi

Dsh : diameter poros

untuk T = 7288,4 kg.mm dan d_{sh} = 35 mm, maka:

$$F_t = \frac{2.7288,4}{35}$$

$$= 416,5 \text{ kg}$$

Tegangan geser yang diderita pasak pada penampang mendatar (τ_k):

$$\tau_k = \frac{F}{l.b}$$

dengan:

l : panjang pasak

b : lebar pasak

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

untuk F_t = 416,5 kg, l = 40 mm dan b = 10 mm, maka:

$$\tau_k = \frac{416,5}{40.10}$$

$$= 1,04 \text{ kg/mm}^2$$

Bahan pasak diambil dari SUS 316 JIS G 4051 didapat kekuatan tarik, σ_t = 53 kg/mm^2.

Tegangan geser yang diijinkan (τ_{ka}) dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{ka} = \frac{\sigma_t}{S_{f1} x S_{f2}}$$

dengan:

σ_t = tegangan tarik dari bahan

S_{f1} = faktor keamanan terhadap puntir

S_{f2} = faktor keamanan terhadap konsentrasi tegangan

untuk σ_t = 53 kg/mm^2, S_{f1} = 6 dan S_{f2} = 3

maka:

$$\tau_{ka} = \frac{53}{6x3}$$

$$= 2,9 \text{ kg/mm}^2$$

Dari harga (τ_k = 1,04 kg/mm^2 < τ_{ka} = 2,9 kg/mm^2) berarti pasak aman terhadap tegangan geser.

Pengecekan kekuatan pasak terhadap tekanan permukaan yang diijinkan ini disyaratkan P_a untuk poros berdiameter kecil adalah 8 kg/mm^2, untuk poros berdiameter besar adalah 10 kg/mm^2 (Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin, Ir Sularso, MSME).

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tekanan permukaan (P) dapat dicari dengan persamaan:

$$P = \frac{F}{l.(t_1 ataut_2)}$$

dengan:

l : panjang pasak

t_1 : kedalaman alur pasak pada poros

t_2 : kedalaman alur pasak pada naf

untuk F = 416,5 kg, t_1 = 5 mm, t_2 = 3,3 mm dan l = 40 mm, maka:

$$P = \frac{416,5}{3,3x40}$$

$= 3,15 \text{ kg/mm}^2$

Dari harga ($P = 3,15 \text{ kg/mm}^2 < Pa = 8 \text{ kg/mm}^2$) berarti pasak aman terhadap tekanan permukaan.

4.5. BANTALAN

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umurnya. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya.

Bantalan dapat diklasifikasikan atas dasar:

1. Gerakan bantalan terhadap poros.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

a. Bantalan luncur

Gesekan yang terjadi adalah gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas.

b. Bantalan gelinding.

Gesekan yang terjadi adalah gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol (rol jarum) dan rol bulat.

2. Arah beban terhadap poros

a. Bantalan radial

Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.

b. Bantalan aksial

Arah beban pada bantalan ini sejajar dengan sumbu poros

c. Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.

4.5.1. Bantalan Dekat Impeler

Pada perencanaan bantalan untuk pompa dengan jenis bantalan yang digunakan *single row deep groove ball bearing.* Bantalan dengan jenis direncanakan mempunyai umur minimal 20.000 jam (Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin, Ir Sularso, MSME).

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Beban ekivalen dinamis, Pr adalah beban yang besarnya sedemikian rupa sehingga memberikan umur yang diberikan oleh beban dan kondisi putaran sebenarnya. Besarnya beban ekivalen dinamis dinyatakan dengan persamaan:

$$Pr = X.V.F_r + Y.Fa$$

dengan:

Pr : beban ekivalen dinamis (kg)

Fr : beban radial (kg)

Fa : beban aksial (kg)

V : konstanta ≈ 1

X,Y : koefisien yang ada dalam tabel.

Tabel 4.4. Faktor V,X,Y,Xo dan Yo

Jenis bantalan		Beban putar pd cincin dalam	Beban putar pada cincin luar	Baris tunggal		Baris ganda				e	Baris tunggal		Baris ganda	
				$F_a/VF_r > e$		$F_a/VF_r \leq e$		$F_a/VF_r > e$						
		V		X	Y	X	Y	X	Y		X_o	Y_o	X_o	Y_o
Bantalan bola alur dalam	F_a/C_o = 0,014	1	1,2	0,56	2,30	1	0	0,56	2,30	0,19	0,6	0,5	0,6	0,5
	= 0,028				1,99				1,90	0,22				
	= 0,056				1,71				1,71	0,26				
	= 0,084				1,55				1,55	0,28				
	= 0,11				1,45				1,45	0,30				
	= 0,17				1,31				1,31	0,34				
	= 0,28				1,15				1,15	0,38				
	= 0,42				1,04				1,04	0,42				
	= 0,56				1,00				1,00	0,44				
Bantalan bola sudut	α = 20°	1	1,2	0,43	1,00	1	1,09	0,70	1,63	0,57	0,5	0,42	1	0,84
	= 25°			0,41	0,87		0,92	0,67	1,41	0,68		0,38		0,76
	= 30°			0,39	0,76		0,78	0,63	1,24	0,80		0,33		0,66
	= 35°			0,37	0,66		0,66	0,60	1,07	0,95		0,29		0,58
	= 40°			0,35	0,57		0,55	0,57	0,93	1,14		0,26		0,52

(Sumber : Sularso, 1980)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh harga Fa = 461,67 kg, Fr = 28 kg (pada bantalan dekat impeler) dan Fr = 2,37 kg (pada bantalan bola dekat kopling).

Kapasitas nominal statis dari tabel pemilihan bantalan standar (lampiran) adalah:

Co = 1010 (kg) (bantalan dekat impeller dan dekat kopling).

Untuk Fa/Co = 0,46, maka diperoleh koefisien V = 1, X = 0,56 dan Y = 1,04 dari tabel 4.4.

Besarnya Pr, beban ekivalen dinamis untuk bantalan dekat impeler adalah:

$$Pr = X.V.F_r + Y.Fa$$

$$= 0,56x1x28 + 1,04x461,67$$

$$= 495,82 \text{ N}$$

Bantalan yang direncanakan mempunyai umur nominal 20.000 jam dan putaran poros 1470 rpm. Besarnya beban dinamis minimum yang diijinkan adalah:

$$C_{min} = \left(\frac{L_h.60.n}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} .P_{r1}$$

$$C_{min} = \left(\frac{20000.60.1470}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} .495,82$$

$$= 2780,7 \text{ kg}$$

Dipilih bantalan jenis terbuka 6008 yang mempunyai dimensi

- Jenis bantalan : bantalan bola dalam baris tunggal (deep grove ball bearing)
- Jenis Terbuka 6008
- Diameter dalam, d = 40 mm
- Diameter luar, D = 68 mm

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Lebar bantalan, B = 23 mm
- Jari-jari fillet, r = 2,5 mm

Umur bantalan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_h = 500.fh^p$$

dengan:

f_h = factor umur

p = factor eksponen umur

Besar factor umur (f_h) ditentukan dari persamaan:

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P_r}$$

dengan:

f_n = factor kecepatan

C_r = kapasitas nominal beban dinamik

P_r = beban dinamik radial ekivalen

untuk:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{p}}$$

Untuk jenis bantalan bola, p = 3 dan n = 1470 rpm, maka:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{1470}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0,28$$

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk f_n = 0,28, C = 12838 dan Pr = 495,82, maka:

$$f_h = 0{,}28\frac{12838}{495{,}82}$$

$$= 7{,}2$$

Maka umur bantalan yang direncanakan:

$$Lh = 500x7{,}2^3$$

$$= 186.624 \text{ jam}$$

4.5.2. Bantalan Dekat Kopling

- Jenis bantalan : bantalan bola dalam baris tunggal (deep grove ball bearing)
- Jenis Terbuka 6008
- Diameter dalam, d = 40 mm
- Diameter luar, D = 68 mm
- Lebar bantalan, B = 15 mm
- Jari-jari fillet, r = 1,5 mm

4.5.3. Pelumasan Bantalan

Pelumasan pada bantalan bertujuan untuk menghindari kontak langsung antara permukaan yang berputar, karena dengan pelumasan akan terbentuk lapisan tipis bahan pelumas pada permukaan bagian-bagian tersebut. Dengan demikian laju keausan dapat diperlambat dan korosi dapat dicegah. Pelumasan juga dimaksudkan untuk mencegah masuknya kotoran dan membawa keluar panas yang terjadi. Terdapat dua cara pelumasan yang umum digunakan yaitu: pelumasan dengan gemuk dan pelumasan dengan minyak.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pada kecepatan rendah biasanya digunakan pelumasan gemuk. Pelumasan grease penggunaannya lebih mudah dalam berbagai posisi bantalan, terutama pada posisi poros yang tegak dan miring. Pelumasan dengan gemuk digunakan sejauh masih memenuhi kecepatan yang diijinkan. Disamping itu harus diperhatikan selang waktu penggantian gemuk yang tepat sesuai dengan jenis bantalan yang digunakan.

Pada perencanaan ini, pelumasan bantalan menggunakan grease tipe Lithium EP grade no 1 (MJ Neak OBE, 2001). Pemilihan ini didasarkan pada kemampuan grease untuk melumasi bantalan dengan jangka waktu yang relatif lebih awet atau lama dengan kondisi operasional pompa pada suhu rendah, yaitu – 15^0 C.

4.6. STUFFING BOX

Stuffing box atau kotak paking adalah penyekat antara poros dengan rumah pompa yang mempunyai beberapa fungsi, antara lain:

a. Untuk mencegah udara masuk casing, jika tekanan dalam stuffing box lebih rendah dari tekanan atmosfir.
b. Untuk mencegah kebocoran sepanjang poros pompa, jika tekanan yang bekerja dalam stuffing box lebih besar dari pada tekanan atmosfir.

Bahan paking dipilih berdasarkan kondisi operasi. Paking berikut ini yang sering digunakan:

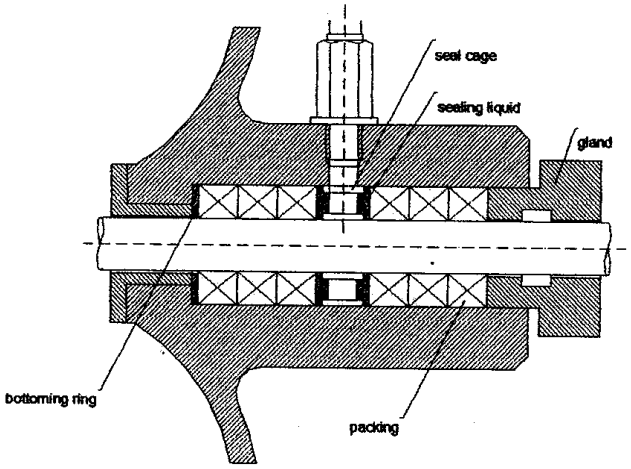
1. Cotton packing, dilapisi dengan grafit dan sedikit gemuk, digunakan pada pompa tekanan rendah untuk air dingin.
2. Asbestos packing, dilapisi dengan grafit, untuk fluida panas dengan temperatur

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sampai 200^0 C dan tekanan sampai 25 kg/cm^2 dan juga untuk acids dan alkalis.

3. Resilient packing, terdiri dari asbestos fibre, graphite, soft metals, Neoprene, binding oil dll. Digunakan untuk pompa minyak, kondensasi gas dll.
4. Metalic packing, dibuat dari gulungan metal anti gesek, untuk produksi minyak dengan temperatur sampai 200^o C, atau gulungan alumunium untuk produksi minyak pada temperatur antara 200^0 C dan 450^o C.

Gambar 4.11. memperlihatkan stuffing box yang dipilih dalam perencanaan pompa brine ini, berupa stuffing box dengan gland sebagai penekan cincin paking dan latern ring atau seal cage yang berisi cairan penyekat untuk mencegah masuknya udara ke dalam pompa.



Gambar. 4.11. Konstruksi stuffing box
(Sumber : Igor J. Karasik, 1976)

Cairan penyekat bisa berupa air atau cairan yang disuplai dari sumber tertentu namun dalam hal ini digunakan air dari saluran keluar untuk stuffing box. Bahan paking diambil dari bahan yang memiliki sifat tertentu, yang mudah menyesuaikan dengan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kondisi kerja pompa seperti tahan panas dan tahan keausan. Bahan yang diambil sebagai paking berupa Cotton paking dengan jumlah paking 4 buah.

Paking berpenampang bujur sangkar dengan dimensi sisinya:

$b = 0{,}25.d_{ss}$

dengan:

d_{ss} : diameter poros pada bagian stuffing box atau diameter luar selongsong poros (shaft sleeve).

Untuk d_{ss} = 35 mm dan dimensi gland dibuat menyesuiakan dengan ukuran stuffing box. Maka dimensi bujur sangkar dengan demensi sisinya:

$b = 0{,}25.35$

$= 8{,}75$ mm

Diambil d_{ss} = 10 mm dan dimensi gland dibuat menyesuaikan dengan ukuran stuffing box.

4.7. Selongsong Poros (Shaft Sleeve)

Shaft sleeve pada pompa sentrifugal berfungsi sebagai internal bearing yang digunakan untuk melindungi poros dari gesekan langsung dengan stuffing box disamping melindungi poros dari korosi dan erosi. Shaft sleeve dipasang pada poros setelah itu baru dipasang stuffing box dan gland.

Bahan untuk selongsong poros ini harus memiliki sifat halus sehingga poros berputar tanpa banyak gesekan dengan rumah pompa maupun stuffing box. Bahan shaft sleeve ini terbuat dari SUS 316, dengan pertimbangan bahan ini kuat dan tahan korosi.

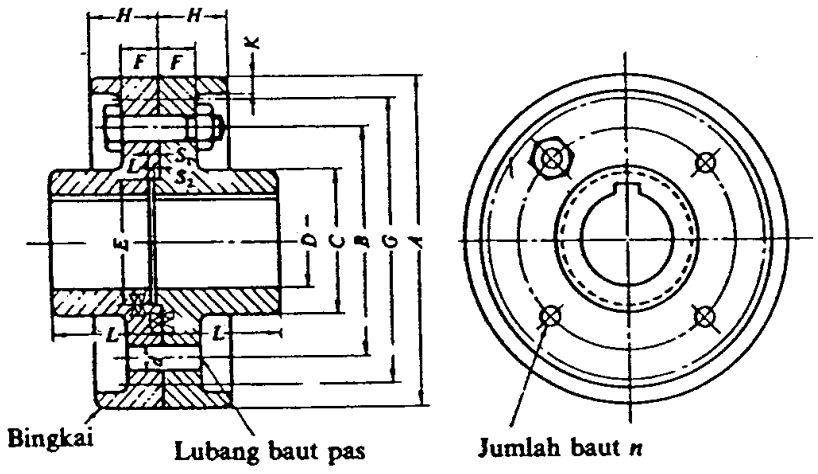
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.8. Kopling

Kopling adalah suatu elemen mesin yang berfungsi untuk meneruskan putaran dan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan tanpa slip. Dalam perencanaan ini digunakan kopling flens luwes. Kopling ini masih mengijinkan sedikit ketidak lurusan sumbu kedua poros.

Bahan kopling luwes yang direncanakan dengan menggunakan FC 20 dan bahan untuk mur dan baut adalah SS41. Dengan ukuran diameter dalam sebesar 35 mm, untuk perencanaan kopling luwes ini didapat ukuran-ukurannnya dari JIS B 1451-1962 sebagai berikut:

- A = 140 mm
- G = 124 mm
- D = 35 mm
- L = 50 mm
- C = 63 mm
- B = 100 mm
- F = 18 mm
- H = 31,5 mm
- K = 4 mm
- d = 10 mm



Gambar 4.12. Ukuran Kopling Flens
(Sumber: Sularso, 1980)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.8.1. Kekuatan Kopling Flens

Kopling flens terbuat dari bahan FC 20 dari JIS G 5501 mempunyai kekuatan tarik $\sigma = 20$ kg/mm^2.

- Besarnya tegangan geser pada flens dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{fa} = \frac{\sigma}{S_{fb}.C}$$

dengan:

S_{fb} : factor keamanan untuk flens ≈ 6

C : factor koreksi = 3

maka:

$$\tau_{fa} = \frac{20}{6.3}$$

$$= 1{,}11 \text{ kg/mm}^2$$

- Tegangan geser yang terjadi pada flens:

$$\tau_f = \frac{2T}{\pi.C^2F}$$

dengan:

T : momen punter, kg.mm

C : diameter naf, mm

F : lebar flens, mm

Untuk T = 7288,4 kg.mm, C = 63 mm dan F = 18 mm, maka:

$$\tau_f = \frac{2x7288{,}4}{\pi.63^2.18}$$

$$= 0{,}06 \text{ kg/mm}^2$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari bahwa $\tau_f < \tau_{fa}$ maka kopling aman terhadap tegangan geser yang terjadi.

4.8.2. Kekuatan Baut Pengikat Kopling Flens

Baut pengikat kopling flens terbuat dari bahan SS41 dari JIS G 3101 mempunyai kekuatan tarik $\sigma = 40$ kg/mm^2.

- Besarnya tegangan geser pada flens dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{fa} = \frac{\sigma}{S_{fb}.C}$$

dengan:

S_{fb} : factor keamanan untuk flens ≈ 6

C : factor koreksi = 3

maka:

$$\tau_{ba} = \frac{40}{6.3}$$

$$= 2{,}2 \text{ kg/mm}^2$$

- Tegangan geser yang terjadi pada flens:

$$\tau_b = \frac{8T}{\pi.d_b{}^2 nB}$$

dengan:

T : momen puntir, kg.mm

d_b : diameter baut = 10 mm

n : jumlah baut

B : diameter pusat baut, mm

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk T = 7288,4 kg.mm, d_b = 10 mm, n = 4 dan B = 100 mm, maka:

$$\tau_b = \frac{8x7288,4}{\pi.10^2.4.100}$$

$$\tau_b = 0,46 \text{ kg/mm}^2$$

Dari nilai di atas bahwa $\tau_b < \tau_{ba}$ maka baut aman terhadap tegangan geser yang terjadi.

4.9. Impeler Nut

Impeler nut berfungsi untuk menjaga agar impeler tidak terlepas dari poros selama impeler berputar. Dalam perencanaan ini dipilih nut dengan standart M18 (DIN 917). Nut yang digunakan adalah nut yang memiliki tipe ulir kiri, dengan pertimbangan bahwa pada saat poros berputar (searah jarum jam), maka kondisi ini akan menguatkan penguncian nut terhadap impeler.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB V

EFISIENSI DAN KARAKTERISTIK

5.1. Efisiensi Pompa

Rugi-rugi yang timbul pada pompa akan selalu berdampak pada penurunan efisiensi pompa. Penurunan efisiensi pada pompa sentrifugal disebabkan karena adanya kebocoran, turbulensi aliran, gesekan pada bantalan, gesekan pada impeler, serta bagian-bagian pompa yang berputar lainnya. Dengan demikian efisiensi pompa akan dipengaruhi oleh hal-hal berikut :

1. Rugi-rugi hidrolis akibat turbulensi atau pusaran aliran serta gesekan.
2. Rugi-rugi mekanis akibat gesekan pada bantalan dan paking
3. Rugi-rugi akibat gesekan pada cakram
4. Rugi-rugi kebocoran

Jumlah kerugian seluruhnya dapat dilihat dalam efisiensi total pompa. Selanjutnya efisiensi total pompa (*over all efficiency*) perkalian dari efisiensi mekanis, efisiensi hidrolis dan efisiensi volumetris.

5.1.1. Efisiensi volumetris (ηv)

Efisiensi volumetris dipengaruhi oleh kapasitas kebocoran yang terjadi dalam pompa. Kebocoran ini dapat berupa fluida yang sudah mengalami pemompaan namun kembali lagi ke sisi hisap melewati celah antara komponen yang diam dari pompa yang akhirnya terpompa lagi.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Efisiensi volumetris (ηv) sendiri merupakan perbandingan antara kapasitas pemompaan dengan jumlah cairan yang melalui impeler (kapasitas pemompaan ditambah kebocoran), dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta v = \frac{Q}{Q + QL}$$

Dengan :

Q : kapasitas pemompaan

QL : kapasitas kebocoran

Untuk Q = 35,7 l/s, dan QL = 0,71 l/s

$$\eta v = \frac{35,7}{35,7 + 0,71}$$

$$= 0,98$$

5.1.2. Efisiensi hidrolis

Kerugian hidrolis disebabkan oleh adanya rugi-rugi aliran dan turbulensi dalam pompa. Jumlah kerugian hidrolis dapat dilihat dari besarnya efisiensi hidrolis yang merupakan perbandingan antara head total pompa sesungguhnya dengan head teoritis. Efisiensi hidrolis (ηh) dirumuskan dengan persamaan : (Stephanoff, 1957)

$$\eta_{head} = \frac{H}{Hth}$$

dengan :

H : head pompa sesungguhnya

Hth : head teoritis pompa

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Untuk H = 17 m dan Hth = 20,24 m, maka :

$$\eta_{head} = \frac{17}{20,24}$$

$$= 0,84$$

5.1.3. Efisiensi mekanis

Rugi-rugi mekanis pada pompa sentrifugal terutama disebabkan karena adanya gesekan pada bantalan, impeller serta gesekan pada kotak paking. Akibat kerugian tersebut, maka daya yang diberikan penggerak menjadi lebih besar disbanding daya yang diberikan pompa ke fluida kerja.

Efisiensi mekanis (η_m) dirumuskan sebagai perbandingan antara daya internal yang diberikan pompa ke fluida kerja dengan daya yang diberikan penggerak (hp_m) adalah :

$$\eta_m = \frac{Pi}{Psh} \quad \text{atau}$$

$$\eta_m = \frac{Psh - Pmf}{Psh}$$

dengan :

Pmf : rugi-rugi gesekan mekanis

A. Kerugian gesekan pada bantalan

Daya yang hilang akibat gesekan bantalan (P_{fb}) dalam Hp adalah :

$$Pfb = \frac{M_{tot}.n}{71620}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan :

Pfb : daya yang hilang akibat gesekan bantalan

Mtot : jumlah momen torsi yang hilang dalam kg.mm

n : putaran per menit

Momen torsi yang hilang pada bantalan :

$$M = \frac{\mu.F.d}{2}$$

dengan :

M : momen torsi yang hilang

μ : koefisien gesekan bantalan

F : beban bantalan dalam kg.

D : diameter cincin dalam bantalan

Untuk masing-masing bantalan (bantalan kiri dan kanan) memiliki nomor nominal yang berbeda, bantalan kiri dan kanan yang digunakan adalah bantalan jenis Deep Groove Ball Bearing dengan nomor nominal 6008.

1. Untuk bantalan kiri :

$$M_1 = \frac{\mu.F.d}{2}$$

dengan :

F = gaya reaksi pada bantalan sebelah kiri

Untuk F = 495,8 kg, d = 40 mm dan μ = 0,0015 (untuk bantalan bola)

maka :

$$M_1 = \frac{0{,}0015x34{,}77x45}{2}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

M_1 = 1,17 kg.mm

2. Untuk bantalan kanan:

$$M_2 = \frac{\mu.F.d}{2}$$

dengan :

F = gaya reaksi pada bantalan sebelah kanan

Untuk F = 66,55 kg, d = 45 mm dan μ = 0,0015, maka:

$$M_2 = \frac{66{,}55x45x0{,}0015.}{2}$$

= 2,25 kg.mm

Maka momen torsi total yang hilang dari masing-masing bantalan adalah :

$M_{tot} = M_1 + M_2$

dengan :

M_1 : momen torsi yang hilang pada bantalan kiri

M_2 : momen torsi yang hilang pada bantalan kanan

Untuk M_1 = 1,17 kgmm dan M_2 = 2,25 kgmm

maka:

M_{tot} = 1,17 + 2,25

= 3,42 kgmm

Maka daya yang hilang akibat gesekan pada bantalan:

$$Pfb = \frac{M_{tot}.N}{71620}$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$Pfb = \frac{3{,}42x1470}{71620}$$

$$= 0{,}07 \text{ HP}$$

B. Kerugian gesekan pada impeler

Besar kerugian gesekan pada impeler dalam Hp : (Sthepanoff, 1957)

$$Pfd = \frac{d_2^{4,83} N^{2,83}}{8{,}75.10^8}$$

dengan :

d_2 : diameter luar impeler dalam feet

n : kecepatan putar poros pompa

untuk d_2 = 244 mm = 0,79 feet, n = 1470 rpm

maka:

$$Pfd = \frac{d_2^{4,83} N^{2,83}}{8{,}75.10^8}$$

$$= \left[\frac{(0{,}79)^{4,83}.1470^{2,83}}{8{,}75.10^8} \right]$$

$$= 0{,}34 \text{ Hp}$$

C. Kerugian gesekan pada stuffing box dalam Hp

Kerugian daya pada stuffing box diperkirakan sebesar 0,2% - 0,5% dari daya poros (P_{sh} atau BHP). Asumsi kerugian yang disebabkan gesekan pada stuffing box sebesar 0,3% dari poros.

Untuk Psh = 8,69 kW = 11,65 metrik Hp, maka:

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$Pfs = 0{,}003.Bhp$

$= 0{,}003 \times 11{,}65$

$= 0{,}035$ Hp

Berbagai kerugian mekanis telah dihitung, sehingga didapatkan kerugian mekanis total P_{fm}, yaitu :

$Pfm = Pfb + Pfd + Pfs$

$= 0{,}07 + 0{,}34 + 0{,}035$

$= 0{,}445$

Sehingga efisiensi mekanis (η_m) pompa yang didesain adalah :

$$\eta_m = \frac{11{,}65 - 0{,}445}{11{,}65}$$

$= 0{,}96$

5.1.4. Efisiensi total pompa

Efisiensi total pompa dicari dengan mengalikan efisiensi volumetris, efisiensi hidrolis dan efisiensi mekanis, yaitu :

$\eta_p = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m$

$= 0{,}98 \times 0{,}84 \times 0{,}96$

$= 79\ \%$

5.2. Karakteristik Pompa

Sebelum mengoperasikan suatu pompa, maka perlu untuk mengetahui karakteristik kerja pompa tersebut. Karakteristik suatu pompa yang sesungguhnya hanya

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dapat diperoleh melalui eksperimen dengan pompa yang bersangkutan. Namun demikian kita dapat mengetahui karakteristik pompa yang dirancang dengan pendekatan yang diperoleh dari hasil perhitungan teoritis.

5.2.1 Hubungan Head dengan Kapasitas Pompa

5.2.1.1. Head Euler dengan kapasitas

Head Euler merupakan head yang didapat dari suatu persamaan yang didasarkan pada asumsi yang ideal, yakni aliran fluida dianggap tanpa gesekan, tanpa turbulensi dan dengan jumlah sudu yang tak terhingga. Dengan demikian diperoleh pengarahan pada fluida yang mengalir secara sempurna.

Hubungan head Euler dengan kapasitas dapat dinyatakan dalam suatu persamaan : (Fritz Dietzel, 1993)

$$Hth\sim = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2.Q.ctg\beta_2}{g.\pi.d_2.b_2}$$

dengan :

Hth~ : head kapasitas Euler

Q : kapasitas pompa

U2 : kecepatan keliling pada sisi keluar impeler

β2 : sudut sisi keluar impeler

d2 : diameter sisi luar impeler

b2 : lebar sisi keluar dari impeler

g : percepatan gravitasi

Untuk Q = 0,0357 m^3/s, u_2 = 18,8 m/s, d_2 = 244 mm, $\beta_2 = 30^0$, b_2 = 20 mm,

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

maka :

$$Hth\sim = \frac{18,8^2}{9,81} - \frac{18,8.Q.ctg30^0}{9,81.\pi.0,244.0,020}$$

$$= 36,03 - 216,5Q$$

Persamaan diatas adalah persamaan linier sehingga hubungan head Euler dengan kapasitas pompa akan berupa garis lurus.

Untuk Q = 0,0357 m^3/s, maka besarnya head euler:

$$Hth\sim = 36,03 - 216,5Q$$

$$= 36,03 - 216,5 \times 0,0357 = 28,3 \text{ m}$$

5.2.1.2. Head teoritis dengan kapasitas

Head teoritis atau head internal hasil hitungan terdahulu adalah sebesar 20,24 m. Nilai head ini lebih kecil dibandingkan head Euller karena pengaruh ketebalan sudu, jumlah sudu yang tertentu dan rugi-rugi aliran. Hubungan antara head teoritis dengan head Euler dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Hth = K2cu \,.\, Hth\sim$$

dengan :

K2cu : faktor sirkulasi

Besarnya faktor sirkulasi:

$$K2cu = \frac{H_{th}}{Hth\infty}$$

$$= \frac{20,24}{28,3} = 0,71$$

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dengan demikian hubungan head teoritis dan kapsitas dapat dinyatakan dengan persamaan:

$H_{th} = K_{2cu} . H_{th\sim}$

$H_{th} = 0,71.(36,03 – 216,5Q)$

$= 25,58 – 153,72Q$

5.2.1.3. Head aktual dengan kapasitas

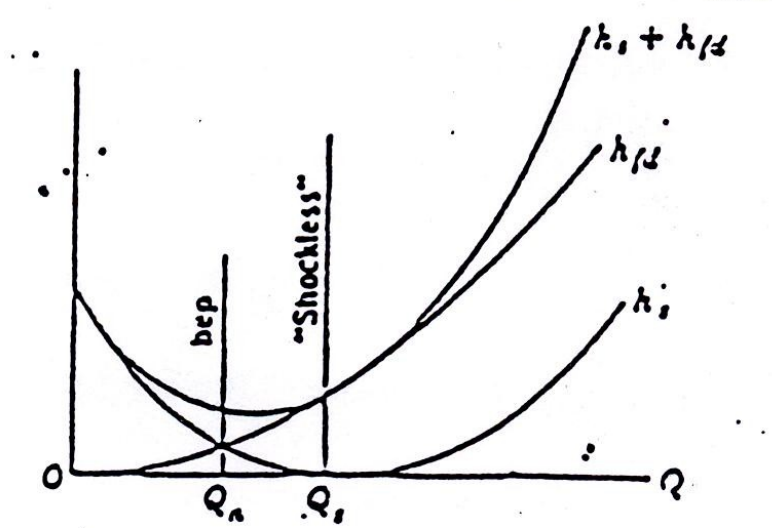
Head aktual adalah head teoritis dikurangi dengan kerugian-kerugian hidrolis. Kerugian hidrolis disebabkan adanya shock/turbulence loss (h_s) dan friction loss (h_{fd}). Head actual dapat dinyatakan dengan persamaan:

$H_{act} = H_{th} - H_h$

$H_h = h_s + h_{fd}$

dengan :

$h_{fd} = K.Q^2$



Gambar 5.1. Grafik kerugian hidrolis terhadap kapasitas
(Sumber : Stepanoff, 1957)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pada kondisi normal, pompa akan mencapai efisiensi terbaik. Kondisi ini sering disebut sebagai Best Efficiensi Point (BEP). Kerugian hodrolis karena shock loss (h_s) dan friction loss (h_{fd}). Efisiensi pompa terbaik diperoleh saat $h_s = h_{fd}$ yaitu pada saat kerugian hidrolik yang terjadi paling kecil.

Untuk kapasitas pompa Q = 0,0357 m^3/s, H_{act} = 17 m dan H_{th} = 20,24 m, maka:

hfd =20,24 – 17 = 3,24 m

Besarnya friction and diffusion (hfd), dapat ditentukan dengan persamaan(Stepanoff, 1957):

$hfd = K.Q^2$

dengan:

K = konstanta friction and diffusion losses

$$K = \frac{hfd}{Q^2}$$

$$= \frac{3{,}24}{0{,}0357^2} = 2542{,}19$$

Sehinggga besarnya friction and diffusion adalah:

$Hfd = 2542{,}19Q^2$

Besarnya shock losses dinyatakan dengan persamaan:

$$H_s = \frac{K_{sh}}{2.g}\left[u_1^2 + \left(u_2 K_{2cu}\frac{D_2}{D_3}\right)^2\right]\left(1-\frac{Q}{Q_s}\right)^2$$

dengan:

Ksh : konstanta, dengan harga 0,6 -0,8

u1 : kecepatan keliling pada sisi masuk (m/s)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

u_2 : kecepatan keliling pada sisi keluar (m/s)

K_{2cu} : faktor sirkulasi

d_2 : diameter sisi keluar impeler (m)

d_3 : diameter flans hisap (m)

Q_s : kapasitas aliran tanpa shock loss

Untuk K_{sh} = 0,7, u_1 = 7,31 m/s, u_2 = 18,8 m/s, K_{2cu} = 0,76, D_3 = 260 mm, D_2 = 244 mm, maka untuk kapasitas normal pada titik efisiensi terbaik, diperoleh:

$$H_s = \frac{0,7}{2.9,81}\left[7,31^2 + \left(18,8.0,76\frac{0,244}{0,260}\right)^2\right]\left(1-\frac{Q}{0,0357}\right)^2$$

$$= 8,32\left(1-\frac{Q}{0,0357}\right)^2$$

$$H_s = 8,32 - 465,9Q + 6528,12Q^2$$

Kerugian hidrolis secara keseluruhan:

$$H_h = H_s + H_{fd}$$

$$= 8,32 - 465,9Q + 6528,12Q^2 + 2542,19Q^2$$

$$= 9070,3Q^2 - 465,9Q + 8,32$$

Untuk head aktual dengan variasi harga Q, menjadi:

$$H_{act} = H_{th} - H_h$$

$$= (25,58 - 153,72Q) - (9070,3Q^2 - 465,9Q + 8,32)$$

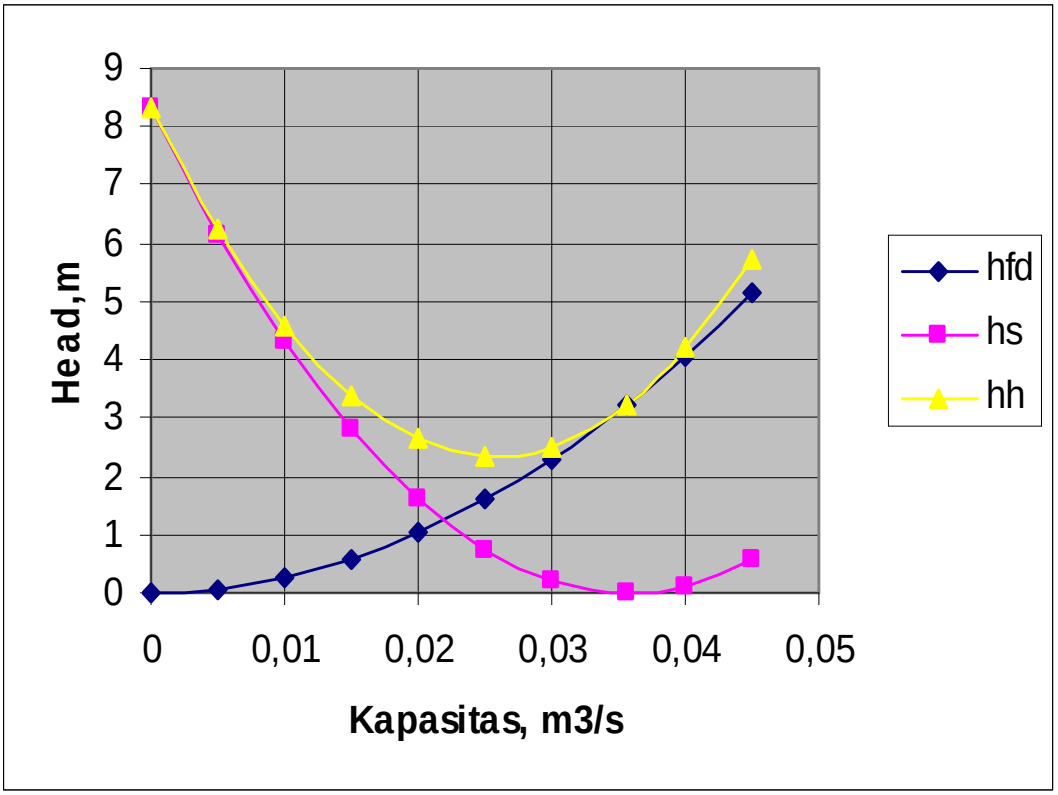
$$= 17,26 - 619,6Q - 9.070,3Q^2$$

Hasil perhitungan head dengan variasi harga Q dapat dilihat pada tabel 5.1.

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.1. Hasil perhitungan friction and diffusion losses, shock losses dan head hidrolis pada berbagai variasi kapasitas pompa

NO	Kapasitas (Q) (m^3/s)	Friction and diffusion losses hfd (m)	Shock losses hs (m)	Head hidrolis hh (m)
1	0,00	0	8,32	8,32
2	0,005	0,064	6,154	6,217
3	0,01	0,254	4,314	4,568
4	0,015	0,572	2,8	3,372
5	0,02	1,017	1,613	2,629
6	0,025	1,588	0,753	2,34
7	0,03	2,288	0,218	2,506
8	0,0357	3,239	0	3,24
9	0,04	4,067	0,128	4,196
10	0,045	5,147	0,574	5,721



Gambar 5.2. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan rugi-rugi hidrolis

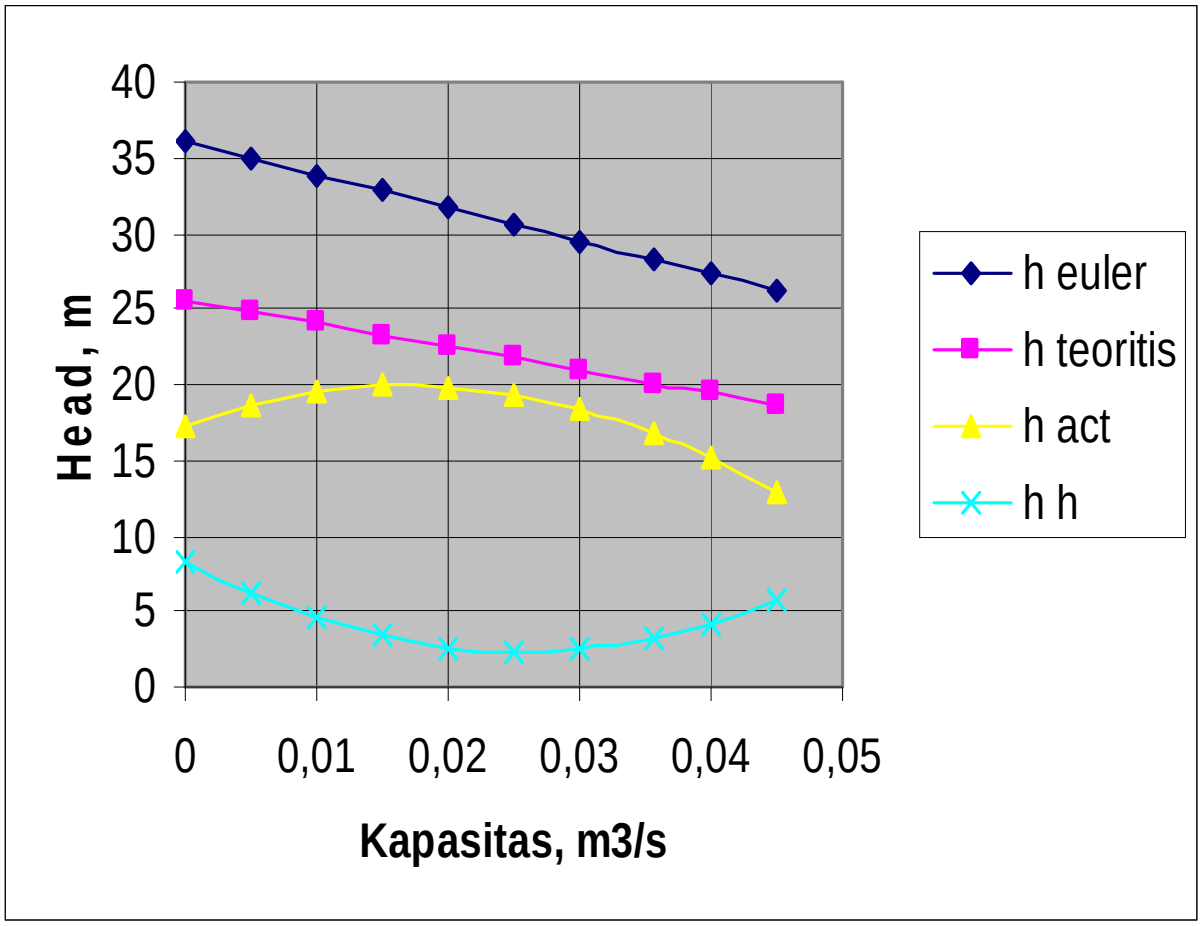
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Hasil perhitungan head Euler, head teoritis dan head aktual pada berbagai variasi kapasitas pompa disajikan dalam tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil perhitungan head Euler, head teoritis dan head aktual pada berbagai variasi kapasitas pompa.

NO	Kapasitas (Q) (m^3/s)	Head Euler $h_{th\sim}$ (m)	Head Teoritis h_{th} (m)	Head aktual H_{act} (m)	Head Hidolis H_h (m)
1	0,00	36,03	25,58	17,26	8,32
2	0,005	34,95	24,81	18,59	6,22
3	0,01	33,865	24,04	19,48	4,57
4	0,015	32,783	23,27	19,9	3,37
5	0,02	31,7	22,5	19,87	2,63
6	0,025	30,617	21,74	19,39	2,34
7	0,03	29,535	20,97	18,46	2,51
8	0,0357	28,3	20,09	16,84	3,25
9	0,04	27,37	19,43	15,23	4,19
10	0,045	26,287	18,66	12,94	5,72

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.3. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan head pompa dalam (m)

5.3. Hubungan Daya dengan kapasitas pompa

Efisiensi dan kebutuhan daya kuda rem pompa dipengaruhi oleh rugi-rugi kebocoran di dalam impeler, gesekan cakra, rugi-rugi mekanis. Daya kuda rem merupakan daya kuda aktual yang diberikan pada pompa oleh penggerak mula untuk

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

mengatasi rugi-rugi kuda fluida, rugi kebocoran, gesekan cakra, kerugian hidrolis dan rugi-rugi mekanis.

Daya yang diberikan pada pompa dinyatakan dengan persamaan :

$$BHP = FHP + HP_L + HP_H + HP_M$$

dengan :

FHP : daya fluida

HP_L : daya untuk mengatasi kebocoran yang terjadi

HP_H : daya untuk mengatasi kerugian hidrolis yang terjadi

HP_M : daya untuk mengatasi kerugian mekanis yang terjadi

5.3.1. Daya Fluida (FHP)

Daya kuda fluida (FHP) dapat dihitung dengan persamaan :

$$FHP = \frac{w.H_{act}}{75}$$

dengan :

Hact : head aktual pompa

w : berat fluida yang dipompa per satuan waktu

Sehingga persamaan diatas menjadi :

$$FHP = \frac{\gamma.Q.H_{act}}{75}$$

Masukkan harga-harga yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya maka besar daya fluida (FHP) untuk sembarang harga Q adalah :

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$FHP = \frac{1.050Q(17,26 + 312,18Q - 9070,3Q^2)}{75}$$

$$= 241,64Q + 4370,5Q^2 - 126.984Q^3$$

5.3.2. Daya untuk mengatasi kebocoran (HPL)

Besar daya kuda untuk mengatasi kebocoran (HPL) dapat ditentukan dengan persamaan : (Stephanoff, 1957)

$$HPL = \frac{\gamma.Q_L.H_{th}}{75}$$

dengan :

Q_L : jumlah kebocoran total yang terjadi

H_{th} : head teoritis

Maka:

$$HPL = \frac{\gamma.Q_L.H_{th}}{75}$$

$$= \frac{1.050(0,02Q)(25,58 - 153,72Q)}{75}$$

$$= 7,16Q - 43,04Q^2$$

5.3.3. Daya untuk mengatasi kerugian hidrolis

Besarnya daya untuk mengatasi kerugian hidrolis (HPH) dapat dihitung dengan persamaan : (Church, 1986)

$$HPH = \frac{\gamma.Q'.h_h}{75}$$

dengan :

Q’ : kapasitas pompa ditambah dengan kebocoran

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

hh : kerugian hidrolis

untuk Q' = 1,02Q dan γ = 1.050 kg/m^3, maka kerugian hidrolis (HPH) untuk sembarang harga Q adalah:

$$HPH = \frac{1.050(1{,}02Q)(9070{,}3Q^2 - 465{,}9Q + 8{,}32)}{75}$$

$$= 129.523{,}88Q^3 - 6.653Q^2 + 118{,}8Q$$

5.3.4. Daya untuk mengatasi kerugian mekanis

Besarnya daya yang diperlukan untuk mengatasi kerugian mekanis (HPM) relatif konstan, besarnya antara 2 – 4% dari BHP. Dalam perhitungan terdahulu didapat harga HPM = 0,445 HP.

Dengan demikian maka besarnya BHP sebagai suatu fungsi terhadap variasi kapasitas pompa (Q) adalah :

$$BHP = FHP + HPL + HPH + HPM$$

$$= (241{,}64Q + 4370{,}5Q^2 - 126.984Q^3) + (7{,}16Q - 43{,}04Q^2) + (129.523{,}88Q^3 - 6.653Q^2 + 118{,}8Q) + (0{,}445)$$

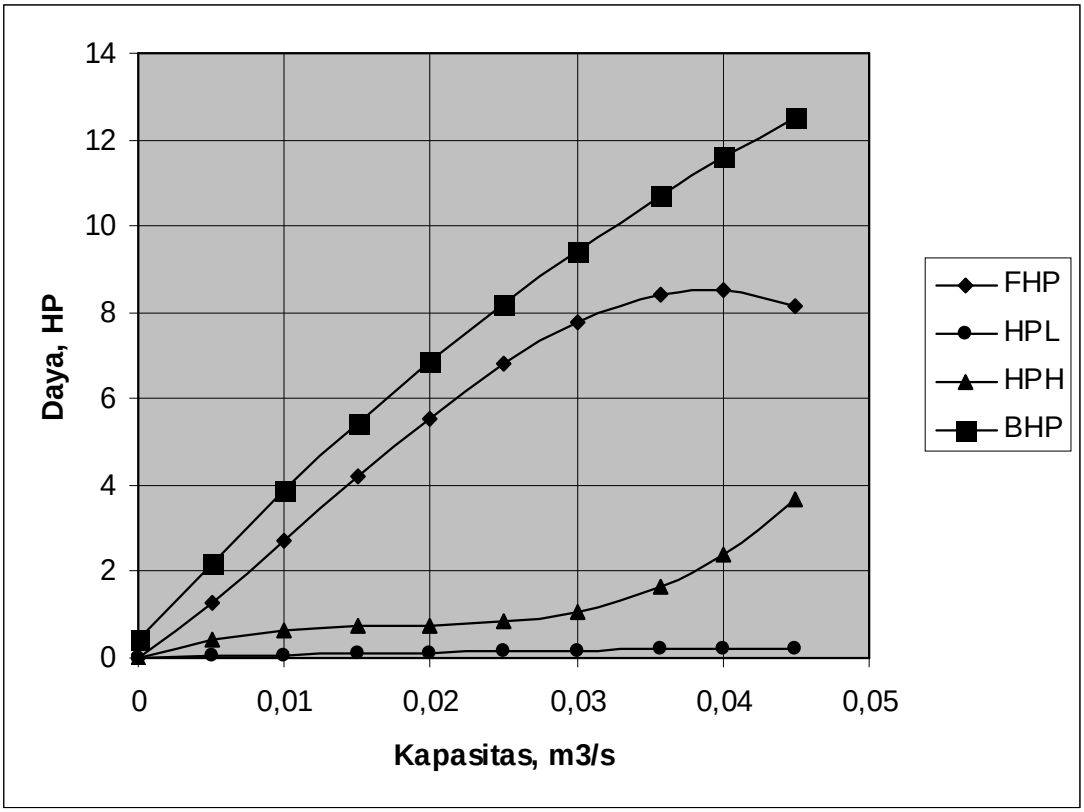
$$BHP = 0{,}445 + 367{,}6Q - 2.325{,}54Q^2 + 2539{,}88Q^3$$

Hasil perhitungan BHP secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel berikut :

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.3. Hasil perhitungan BHP pada berbagai kapasitas pompa

No.	Kapasitas (Q) (m^3/s)	FHP (HP)	HPL (HP)	HPH (HP)	BHP (HP)
1	0,00	0	0	0	0,445
2	0,005	1,28	0,035	0,44	2,207
3	0,01	2,73	0,067	0,65	3,89
4	0,015	4,18	0,098	0,72	5,45
5	0,02	5,56	0,126	0,75	6,88
6	0,025	6,79	0,152	0,84	8,22
7	0,03	7,75	0,176	1,07	9,445
8	0,0357	8,42	0,2	1,65	10,7
9	0,04	8,53	0,218	2,39	11,59
10	0,045	8,15	0,235	3,68	12,5



Gambar 5.4. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan daya pompa dalam (HP)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.4. Hubungan efisiensi dengan kapasitas pompa

Efisiensi total pompa merupakan perbandingan antara daya fluida (HPF) dengan daya rem pompa (BHP), (H. Church, 1986):

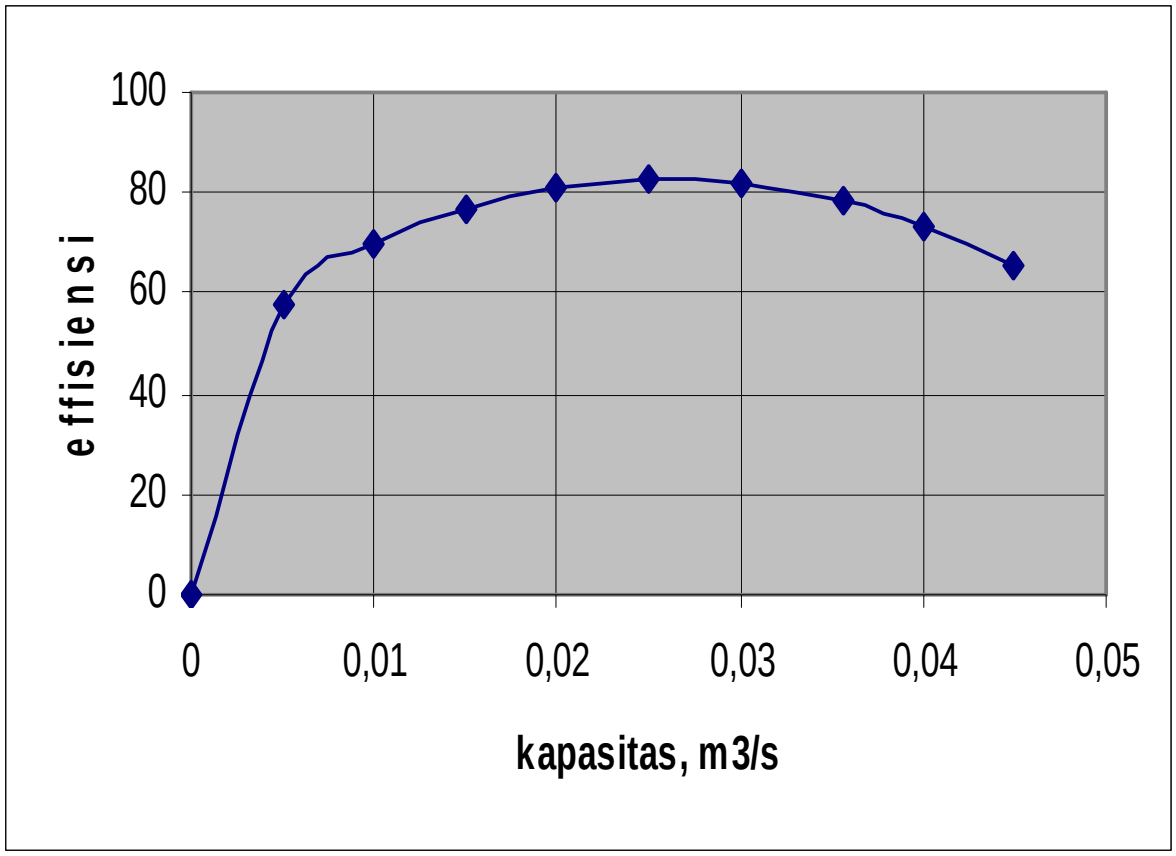
$$\eta = \frac{HPF}{BHP} 100\%$$

Hasil perhitungan efisiensi berdasarkan berbagai kapasitas pompa sebgai berikut:

Tabel 5.4. Hasil perhitungan BHP pada berbagai kapasitas pompa

No.	Kapasitas (Q) (m^3/s)	FHP (HP)	BHP (HP)	η
1	0,00	0	0,445	
2	0,005	1,28	2,207	0
3	0,01	2,73	3,89	70
4	0,015	4,18	5,45	76.69
5	0,02	5,56	6,88	80,8
6	0,025	6,79	8,22	82,56
7	0,03	7,75	9,445	82
8	0,0357	8,42	10,7	78,65
9	0,04	8,53	11,59	73,59
10	0,045	8,15	12,5	65,18

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 5.5. Grafik hubungan antara kapasitas pompa (m^3/s) dengan efisiensi pompa

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.2. Kavitasi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kavitasi adalah gejala menguap zat cair ketika dipompa karena tekanan turun di bawah tekanan uap jenuh. Dalam suatu pemompaan jika tekanan pada sembarang titik didalam pompa itu menjadi lebih rendah dari tekanan uap pada temperatur cair, maka fluida tersebut akan menguap dan membentuk suatu gelembung yang didalamnya berisi uap tersebut.

Selanjutnya gelembung-gelembung ini akan mengalir bersama-sama dengan aliran fluida dan jika sampai pada daerah yang bertekanan tinggi maka gelembung-gelembung tersebut akan mengecil secara tiba-tiba dan selanjutnya pecah ke arah dalam yang mengakibatkan suatu shock yang besar pada dinding didekatnya. Kavitasi terutama akan terjadi pada bagian sisi masuk sudu impeler, baik pada sudu-sudunya maupun pada shroudnya.

Jika pompa mengalami kavitasi maka akan timbul suara berisik dan getaran yang disebabkan oleh pecahnya gelembung-gelembung uap secara tiba-tiba pada saat memasuki daerah yang memiliki tekanan lebih tinggi. Selain menyebabkan timbulnya getaran dan ketukan, kavitasi juga akan menurunkan kurva head kapasitas dan efisiensi, dan jika terjadi terus menerus akan dapat merusak permukaan logam dari pompa.

Kavitasi merupakan peristiwa perubahan fase dari zat cair berubah menjadi uap yang disebabkan oleh turunnya tekanan absolut zat cair sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Berkurangnya tekanan absolut bisa disebabkan karena hal-hal berikut :

- Ketinggian pompa dari zat cair bertambah atau turunnya permukaan zat cair yang dipompa karena hal ini dapat menaikkan static lift.
- Bertambahnya ketinggian tempat pompa beroperasi dari permukaan laut, yang berarti turunnya tekanan atmosfir.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

- Berkurangnya tekanan absolut sistem misalnya jika cairan dihisap dari tanki yang tertutup.
- Temperatur fluida yang dipompa bertambah.
- Bertambahnya kecepatan aliran yang disebabkan karena putaran pompa.
- Terdapat separasi atau kontraksi pada aliran.
- Terjadi penyimpangan garis aliran karena belokan ataupun gangguan-gangguan lain pada aliran.

5.2.2. NPSH (Net Positive Suction Head)

Sebagaimana telah dijelaskan diatas bahwa kavitasi akan terjadi jika tekanan aliran zat cair yang dipompa berada dibawah tekanan uap jenuh zat cair tersebut. Oleh sebab itu, untuk menghindari kavitasi maka diusahakan agar tidak ada satu daerahpun dalam pemompaan yang memiliki tekanan dibawah tekanan uap jenuh cairan pada temperatur operasi pemompaan.

Kavitasi mempunyai kaitan dengan kondisi pipa pada sisi hisap. Tekanan hisap minimum yang dimiliki pompa sehingga mampu memasukkan cairan ke pompa disebut NPSH.

NPSH dipengaruhi oleh beberapa hal berikut :

1. Tekanan absolut pada permukaan cairan yang dipompa
2. Tekanan uap jenuh dari fluida yang dipompa pada temperatur cairannya
3. Ketinggian permukaan cairan dari poros pompa
4. Kerugian yang disebabkan oleh gesekan atau turbulensi aliran dalam pipa hisap, antara permukaan cairan hingga ke pompa

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

NPSH dibedakan menjadi NPSH yang tersedia yang ditentukan oleh sistem atau instalasi pemompaan serta NPSH yang dibutuhkan oleh pompa yang ditentukan oleh pembuat pompa. Agar pompa dapat bekerja tanpa terjadi gangguan kavitasi maka pompa harus beroperasi pada kondisi dimana :

NPSH yang tersedia > NPSH yang dibutuhkan.

A. NPSH yang tersedia

NPSH yang tersedia adalah head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi hisap pompa dikurangi dengan tekanan uap jenuh ditempat tersebut. NPSH yang tersedia dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

dengan :

h_{sv} : NPSH yang tersedia

P_a : tekanan atmosfir

P_v : tekanan uap jenuh

γ : berat jenis fluida

h_s : tinggi pompa dari permukaan cairan yang dihisap

hs adalah positif jika pompa terletak diatas permukaan zat cair yang dihisap, dan negative jika dibawahnya.

hls : kerugian head didalam pompa hisap

Pada perencanaan pompa brine ini, head total pompa sudah ditentukan yaitu 17 meter. Untuk mendapatkan rugi-rugi aliran yang pasti pada head total yang telah

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

direncanakan haruslah meninjau instalasi pada industri yang melayani pada head dan kapasitas yang direncanakan.

Kerugian head akibat gesekan sepanjang pipa lurus :

$$HL = HL_P + HL_R + HL_Q + HL_S + HL_T$$

dengan :

HL_P : rugi-rugi gesekan sepanjang pipa lurus (m)

HL_R : rugi-rugi gesekan sepanjang pipa lurus (m)

HL_Q : rugi-rugi gesekan sepanjang pipa lurus (m)

HL_S : rugi-rugi gesekan sepanjang pipa lurus (m)

HL_T : rugi-rugi gesekan sepanjang pipa lurus (m)

Kerugian gesekan aliran fluida pada pipa lurus HL tergantung sifat aliran dalam pipa yang dibedakan menjadi :

- Aliran bersifat laminar (Re < 2300)
- Aliran bersifat turbulen (Re > 4000)
- Aliran bersifat transisi (Re = 2300 - 4000)

Sifat aliran secara keseluruhan :

$$Re = \frac{V - D}{v}$$

dengan :

v : viskositas fluida kerja

D : diameter pipa

V : kecepatan aliran fluida

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dari persamaan Hazen-William, kerugian head akibat gesekan fluida sepanjang pipa lurus adalah :

dengan :

C : koefisien yang tergantung pada jenis pipa

L : sepanjang pipa lurus

Kerugian akibat belokan pada sisi hisap (Hm1) adalah:

Hm1 =

dengan :

f : koefisien kerugian

g : percepatan gravitasi

B. NPSH yang dibutuhkan

Tekanan yang rendah dalam pompa biasanya terjadi pada titik-titik disekitar sisi masuk sudu impeler. Tekanan pada titik ini lebih rendah dari tekanan pada lubang hisap pompa karena adanya kerugian head pada sisi hisap serta kenaikan kecepatan aliran karena luas penampang yang mengecil.

Selanjutnya penguapan cairan tidak akan terjadi jika tekanan masuk pompa dikurangi dengan penurunan tekanan di dalam pompa lebih besar dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur operasi. Besar penurunan head dalam pompa inilah yang diisebut

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dengan NPSH yang dibutuhkan pompa yang besarnya ditentukan oleh pabrik pembuat pompa melalui pengujian pompa sebenarnya atau dengan pompa yang sama dengannya.

Walaupun demikian, NPSH yang dibutuhkan ($NPSH_R$) dapat ditentukan dengan persamaan : (Igor J. Karassik, 1975)

$$NPSH_R = \sigma \cdot H$$

dengan :

σ : koefisien kavitasi Thoma

H : head total pompa

6.3. Pencegahan Kavitasi

Sebagaimana telah dikemukakan bahwa kavitasi dapat dicegah dengan membuat $NPSH_A > NPSH_R$. Dalam hal ini untuk menaikkan $NPSH_A$ maka ada beberapa cara yang dapat dilakukan, antara lain :

1. Kecepatan masuk relatif dibuat serendah mungkin, ini berarti bahwa kecepatan spesifik harus dibuat rendah jika terjadi kavitasi.
2. Sudut masuk sudu impeler dibuat rendah karena sudut masuk sudu impeler yang rendah dapat mengurangi $NPSH_R$.
3. Mengusahakan agar permukaan impeler sehalus mungkin terutama pada daerah yang dekat dengan sisi masuk.
4. Harus diusahakan membuat sudu yang mencukupi agar dapat memberikan pengaruh yang baik dan untuk menjaga agar tekanan cairan pada sudu-sudu tetap rendah.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB VI

PENUTUP

Pada bagian akhir dari tugas akhir ini akan diberikan rangkuman pompa hasil perencangan ini.

1. Fluida

   Fluida yang dialirkan adalah ethylene glikol yang bertemperatur – 15^0 C yang mempunyai berat jenis $\gamma = 1.050$ kg/m^3.

2. Jenis pompa

   Jenis pompa adalah pompa sentrifugal aliran radial dengan satu tingkat operasi.

3. Impeler

   Impeler yang digunakan adalah tipe Francis dengan jenis kelengkungan ganda.

   Jumlah sudu : 7 buah

   Diameter sisi masuk : 149 mm

   Diameter luar : 244 mm

   Tebal sudu : 5 mm

   Bahan impeler adalah bronze PBC 2A.

4. Poros

   Poros yang digunakan adalah jenis poros bertingkat dengan diameter poros menyesuaikan bagian pemasangan. Bahan poros menggunakan SUS 316 JIS G 4303.

5. Bantalan

   Bantalan yang digunakan adalah jenis bantalan bola alur tunggal dengan nomor seri 6008.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6. Kopling

   Kopling yang digunakan adalah jenis fleksibel, ukuran diambil dari standart JIS B 1451 - 1962 dengan bahan flens dari FC 20.

7. Penggerak

   Penggerak yang digunakan adalah motor listrik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, **EBARA**

Anonim, 1981, **JIS Handbook Machine Element**

Church A.H. , 1985, Harahap Z., **Pompa dan Blower Sentrifugal**, PT. Erlangga, Jakarta

JIS, 1981, **Standart of Machine Element**

Karassik I.J., Krutzsach W.C., Joseph W., Messina F.P., **Pump Handbook**, Mc Graw Hill Book, San Fransisco

Khetagurov, M., **Marine Auxiliary Machinary and System, Peace Publishers**, Moscow

Lazarkiewiczs S. , 1965, Troskolanski A.T., **Impeller Pumps**, 1st edition, Pergamon Press, Warszawa

MJ Neak OBE, 2001, **Lubricationand Reliability Hand Book**

Roy J Dossat, 1985, **Principles Of Refrigeration**, Second Edition

Stepanoff, A.J. , 1986, **Centrifugal Pump Design and Application**, Gulf Publishing Company, Houston

Sularso, Haruo Tahara, **Pompa dan Kompresor** (Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan), PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1983

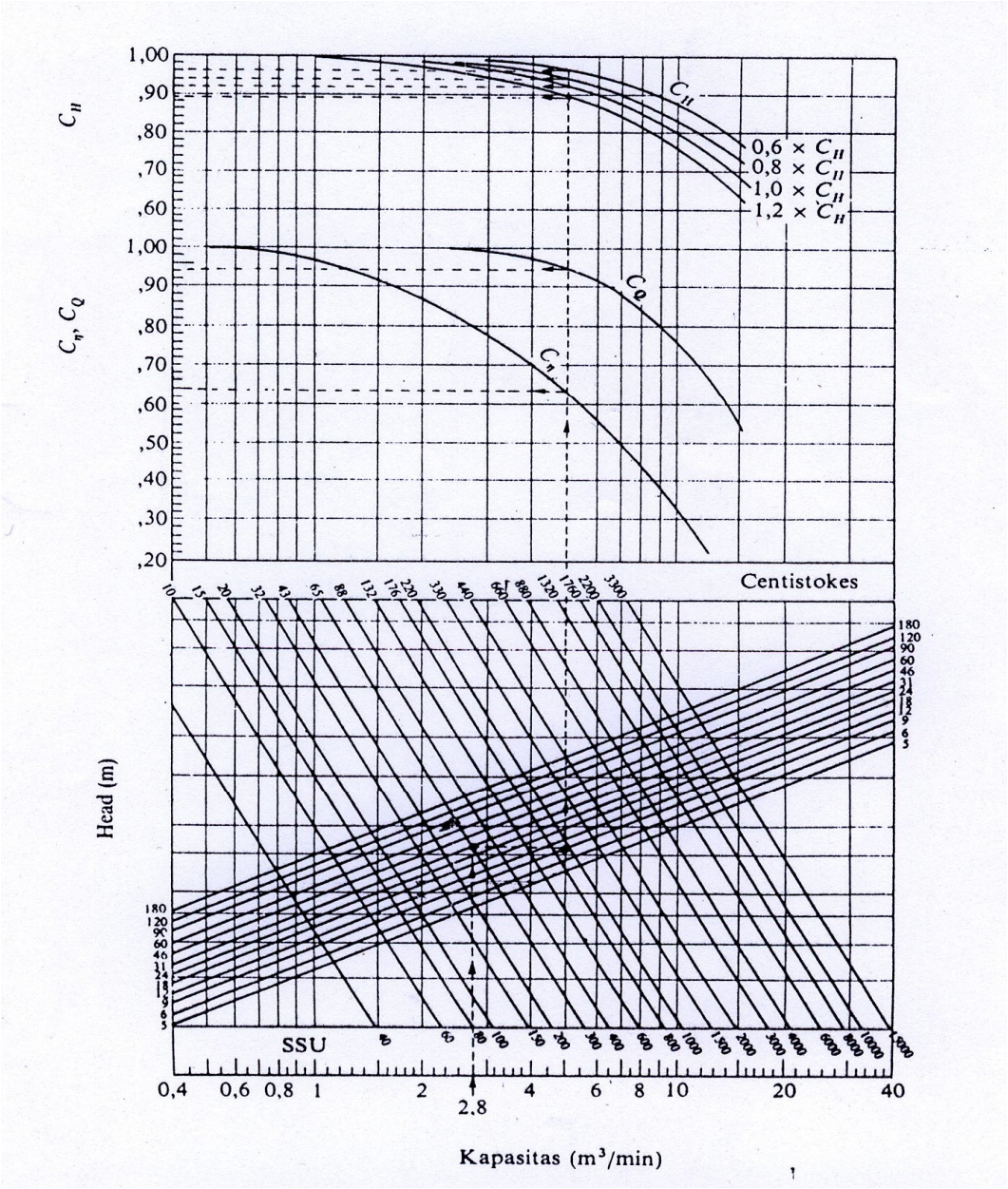
Sularso, Suga, K., **Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin**, PT. Pradya Paramita, Jakarta, 1987

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 1 Diagram Koreksi Performansi Untuk Zat Cair Kental

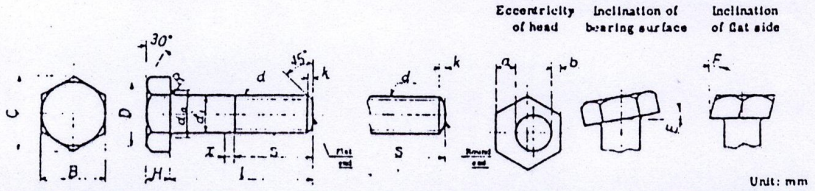


Sumber : Sularso, 1985

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 2 Standar Mur dan Baut

Attached Table 1.3 Hexagon Head Bolt, Regular



Unit: mm

Nominal size of thread d_1		d_1		H		B		C	D	R	d_s	k	$a-b$	E & F
Coarse	Fine	Basic dimension	Tolerance	Basic dimension	Tolerance	Basic dimension	Tolerance	Approx.	Approx.	Min.	Max.	Approx.	Max.	Max.
M 6	—	6	+0.6 −0.15	4	± 0.6	10	0 −0.6	11.5	9.8	0.25	7.2	1	0.5	2°
(M 7)	—	7	+0.7 −0.2	5		11	0 −0.7	12.7	10.7	0.25	8.2	1	0.5	
M 8	M 8×1	8		5.5		13		15	12.6	0.4	10.2	1.2	0.6	
M 10	M 10×1.25	10		7	± 0.8	17		19.6	16.5	0.4	12.2	1.5	0.7	
M 12	M 12×1.25	12	+0.9 −0.2	8		19	0 −0.8	21.9	18	0.6	15.2	2	1	
(M 14)	(M 14×1.5)	14		9		22		25.4	21	0.6	17.2	2	1.1	
M 16	M 16×1.5	16		10		24		27.7	23	0.6	19.2	2	1.2	
(M 18)	(M 18×1.5)	18		12	± 0.9	27		31.2	26	0.6	21.2	2.5	1.4	
M 20	M 20×1.5	20	+0.95 −0.35	13		30		34.6	29	0.8	24.4	2.5	1.5	
(M 22)	(M 22×1.5)	22		14		32	0 −1	37	31	0.8	26.4	2.5	1.6	
M 24	M 24×2	24		15		36		41.6	34	0.8	28.4	3	1.8	
(M 27)	(M 27×2)	27		17		41		47.3	39	1	32.4	3	2	
M 30	M 30×2	30		19	± 1	46		53.1	44	1	35.4	3.5	2.2	
(M 33)	(M 33×2)	33	+1.2 −0.4	21		50		57.7	48	1	38.4	3.5	2.4	
M 36	M 36×3	36		23		55	0 −1.2	63.5	53	1	42.4	4	2.6	
(M 39)	(M 39×3)	39		25		60		69.3	57	1	45.4	4	2.8	
M 42	—	42		26		65		75	62	1.2	48.6	4.5	3.1	
(M 45)	—	45		28		70		80.8	67	1.2	52.6	4.5	3.3	
M 48	—	48		30		75		86.5	72	1.6	56.6	5	3.6	
(M 52)	—	52	+1.2 −0.7	33	± 1.5	80		92.4	77	1.6	62.6	5	3.8	

Remarks 1. The nominal sizes of thread given in parentheses shall not be used as possible.

2. The nominal length (l), effective thread length (s) and transitional thread length (x) shall be in accordance with Attached Table 3.

3. The bolt ends shall be finished flat or round, but the purchaser may specify either one. However, the M 6 bolts shall have their ends unfinished, unless particularly specified to be finished.

4. Where a larger bearing surface is particularly required, the dimensions B and C for the next larger bolt may be used.

References 1. The dimensions H and B conform to the specifications in ISO R 272-1968.

2. The dimension d_s conform to the specifications for regular products in ISO R 885-1968.

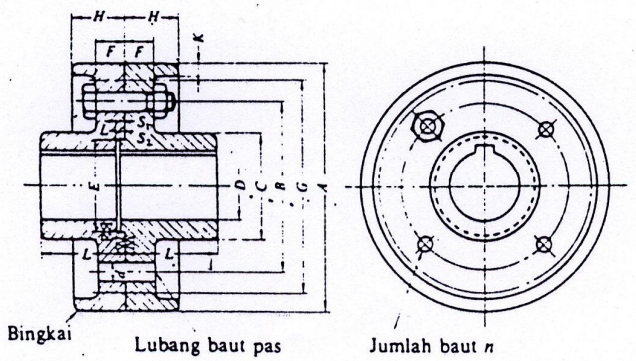
—475—

Sumber : JIS HANDBOOK, 1981

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 3 Ukuran Kopling Flens Luwes

Tabel 2.1 Ukuran kopling flens (JIS B 1451–1962).



(Satuan : mm)

A	G Tanpa bingkai (Halus saja)	D Diameter lubang max.	D Diameter lubang min	L	C	B	F Kasar	F Halus	H Kasar	H Halus	K	n	d Kasar	d Halus
(112)	(100)	25	20	40	45	75	11,2	18	22,4	31,5	4	4	10,5	10
125	112	28	22,4	45	50	85	11,2	18	22,4	31,5	4	4	10,5	10
140	124	35,5	28	50	63	100	11,2	18	22,4	31,5	4	4	10,5	10
160	140	45	35,5	56	80	112	15	20	28	35,5	6	4	14	14
(180)	(160)	50	40	63	90	132	15	20	28	35,5	6	6	14	14
200	180	56	45	71	100	140	18	22,4	35,5	40	6	6	18	16
(224)	(200)	63	50	80	112	160	18	22,4	35,5	40	6	6	18	16
250	224	71	56	90	125	180	23,6	28	45	50	8	6	21	20
(280)	(250)	80	63	100	140	200	23,6	28	45	50	8	6	21	20
315	280	90	71	112	160	236	26,5	35,5	50	63	8	6	24	25
(355)	(315)	100	80	125	180	265	26,5	35,5	50	63	8	6	24	25

Keterangan: 1. Jika tidak disebutkan secara khusus, angka-angka di dalam tabel berlaku umum baik untuk "halus" maupun untuk "kasar".
2. Pemakaian angka-angka di dalam kurung sejauh mungkin dihindarkan.

Sumber : Sularso, 1980

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 4 Sifat Kekuatan Besi Cor Kelabu

9 JIS G 5501. Besi cor kelabu.

Lambang	Tebal utama coran (mm)	Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Kekerasan (kg/mm^2)
FC 20	4–8	24	255 atau kurang
	8–15	22	235 -
	15–30	20	223 -
	30–50	17	217 -
FC 25	4–8	28	269 -
	8–15	26	248 -
	15–30	25	241 -
	30–50	22	229 -
FC 30	8–15	31	269 -
	15–30	30	262 -
	30–50	27	248 -
FC 35	15–30	35	277 -
	30–50	32	269 -

Sumber : Sularso, 1980

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 5 Sifat Bahan Perunggu Fosfor

14 JIS H 5113. Perunggu fosfor cor.

Lambang	Cetakan	Unsur Kimia (%)				Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Kekerasan (H_B)
		Cu	Sn	P	Kotoran		
PBC 2A	Pasir	87,0-91,0	9,0-12,0	0,05-0,20	1,0 atau kurang	20	60
PBC 2B	Logam	87,0-91,0	9,0-12,0	0,15-0,50	1,0 -	30	80
PBC 2C	Logam	84,0-88,0	12,0-15,0	0,10-0,50	1,0 -	-	90

Sumber : Sularso, 1980

PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 6 Sifat Fisik Bronze

PHYSICAL PROPERTIES
PHOSPHOR BRONZE C51000 GRADE A

HEAT TREATED CONDITION	ENGLISH UNITS	METRIC UNITS
Melting Range	1750-1920?F	950-1050?C
Density	.320 lb/cu in. @ 68?F	8.86 gm/cm@ 20?C
Specific Gravity	8.86	8.86

Sumber : Internet

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 7 Ukuran Standart Flens

Flange dimensions (Unit: mm)

DN	øA	oB	oC	F	N-oZ
25	25	90	125	14	4-19
32	32	100	135	16	4-19
40	40	105	140	16	4-19
50	50	120	155	16	4-19
65	65	140	175	18	4-19
80	80	150	185	18	8-19
100	100	175	210	18	8-19
125	125	210	250	20	8-23
150	150	240	280	22	8-23

Sumber : Ebara, Anonim

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 8 Bahan Poros

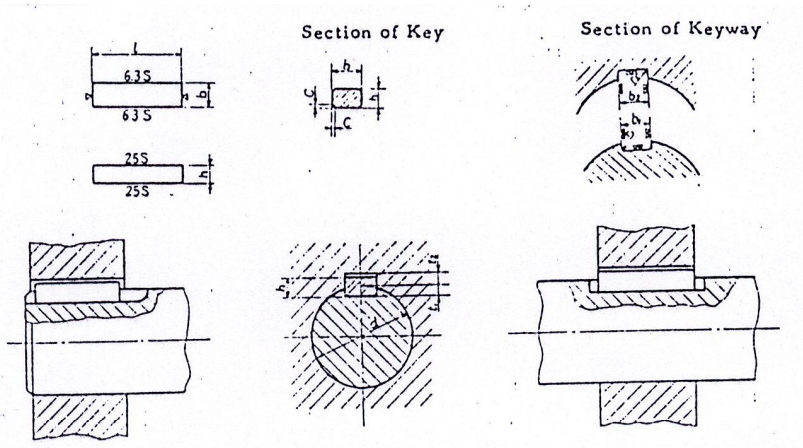
JIS Number	JIS Grade	Comparable Standard	Thickness mm	Mechanical Properties σ_B N/mm² (kg/mm²)	min. σ_y N/mm² (kg/mm²)	min. δ %	min. E J
	SUS 316			520(53)	206(21)	40	
		SA240 Type 316		515	205	40.0	
		DIN17440 X 5 CrNiMo 1810	$t \leq 10$ $10 < t \leq 50$	500~700	205	45 40	$_{lo}E_{28} \geq 85$
		DIN17440 X 5 CrNiMo 1812	$t \leq 10$ $10 < t \leq 50$	500~700	205	45 40	$_{lo}E_{28} \geq 85$
		BS 1501 Part3 316 S16		520	260	40	
	SUS 316 L			481(49)	177(18)	40	
		SA240 Type316L		485	170	40.0	
		DIN17440 X2CrNiMo1810	$t \leq 10$ $10 < t \leq 50$	450~700	195	45 40	$_{lo}E_{28} \geq 85$
		DIN17440 X2CrNiMo1812	$t \leq 10$ $10 < t \leq 50$	450~700	195	45 40	$_{lo}E_{28} \geq 85$
		BS1501 Part3 316 S12		510	245	40	
		BS1501 Part3 316 S37		520	260	40	
	SUS 316 N			549(56)	275(28)	35	
		SA 240 Type316N		550	240	35	
		BS 1501 Part 3 316 S66					
	SUS 316 LN			549(56)	245(25)	40	
		SA 240 Type 316 LN		515	205	40	
		DIN17440 X2CrNiMoN 1812	$t \leq 10$ $10 < t \leq 50$	600~800	280	40 35	$_{lo}E_{28} \geq 85$

46

Sumber : JIS HANDBOOK, 1981

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 9 Tabel Pemilihan Ukuran Pasak



Unit: mm

Nominal size of key $b \times h$	Dimension of key						Dimension of keyway							
	b		h			l(*)	Basic dimension of b_1 and b_2	Loose grade	Normal grade		r_1 and r_2	Basic dimension of t_1	Basic dimension of t_2	Tolerance of t_1 and t_2	Applicable shaft dia. d (*)
	Basic dimension	Tolerance (h 9)	Basic dimension	Tolerance				b_1 and b_2	b_1	h_1				
								Tolerance (P 9)	Tolerance (N 9)	Tolerance (h 9 / h 11)				
2×2	2	0 −0.025	2	0 −0.025	h 9	6～20	2	−0.006 −0.031	−0.004 −0.029	±0.0125	0.08～0.16	1.2	1.0	+0.1 0	6～
3×3	3		3		0.16～0.25	6～36	3					1.8	1.4		8～
4×4	4	0 −0.030	4	0 −0.030		8～45	4	−0.012 −0.042	0 −0.030	±0.0150		2.5	1.8		10～
5×5	5		5		0.25～0.40	10～56	5				0.16～0.25	3.0	2.3		12～
6×6	6		6			14～70	6					3.5	2.8		17～
(7×7)	7	0 −0.036	7	0 −0.036		16～80	7	−0.015 −0.051	0 −0.036	±0.0180		4.0	3.0	+0.2 0	20～
8×7	8		7	0 −0.090		18～90	8					4.0	3.3		22～
10×8	10		8		0.40～0.60	22～110	10					5.0	3.3		30～
12×8	12	0 −0.043	8			28～140	12	−0.018 −0.061	0 −0.043	±0.0215	0.25～0.40	5.0	3.3		38～
14×9	14		9			36～160	14					5.5	3.8		44～
(15×10)	15		10			40～180	15					5.0	5.0		50～
16×10	16		10			45～130	16					6.0	4.3		50～
18×11	18		11		h 11	50～200	18					7.0	4.4		58～
20×12	20	0 −0.052	12	0 −0.110		56～220	20	−0.022 −0.074	0 −0.052	±0.0260	0.40～0.60	7.5	4.9		65～
22×14	22		14		0.60～0.80	63～250	22					9.0	5.4		75～
(24×16)	24		16			70～280	24					8.0	8.0		80～
25×14	25		14			70～280	25					9.0	5.4		85～
28×16	28		16			80～320	28					10.0	6.4		95～
32×18	32	0 −0.062	18			90～360	32	−0.026 −0.088	0 −0.062	±0.0310		11.0	7.4		110～

Sumber : Sularso, 1980

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 10 Pelumasan Bantalan Bola

Type of grease	*NLGI grade no.*	*Speed maximum (percentage recommended maximum for grease)*	*Environment*	*Typical service temperature*				*Base oil viscosity (approximate values)*	*Comments*
				Maximum		*Minimum*			
				°C	°F	°C	°F		
Lithium	2	100 75	Wet or dry	100 135	210 275	−25	−13	Up to 140 cSt at 100°F	Multi-purpose, not advised at max. speeds or max. temperatures for bearings above 65 mm bore or on vertical shafts
Lithium	3	100 75	Wet or dry	100 135	210 275	−25	−13		For max. speeds recommended where vibration loads occur at high speeds
Lithium EP	1	75	Wet or dry	90	195	−15	5	14.5 cSt at 210°F	Recommended for roll-neck bearings and heavily-loaded taper-roller bearings
Lithium EP	2	100 75	Wet or dry	70 90	160 195	−15	5		
Calcium (conventional)	1, 2 and 3	50	Wet or dry	60	140	−10	14	140 cSt at 100°F	
Calcium EP	1 and 2	50	Wet or dry	60	140	−5	25	14.5 cSt at 210°F	
Sodium (conventional)	3	75/100	Dry	80	175	−30	−22	30 cSt at 100°F	Sometimes contains 20% calcium
Clay		50	Wet or dry	200	390	10	50	550 cSt at 100°F	
Clay		100	Wet or dry	135	275	−30	−22	Up to 140 cSt at 100°F	
Clay		100	Wet or dry	120	248	−55	−67	12 cSt at 100°F	Based on synthetic esters
Silicone/lithium		75	Wet or dry	200	390	−40	−40	150 cSt at 25°C	Not advised for conditions where sliding occurs at high speed and load

Sumber : MJ Neak OBE, 2001

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 11 Pemilihan Daya Motor

Comparison table of motor specifications by type of motor

Motor dimensions (low-tension, 3-phase, squirrel-cage induction motor)

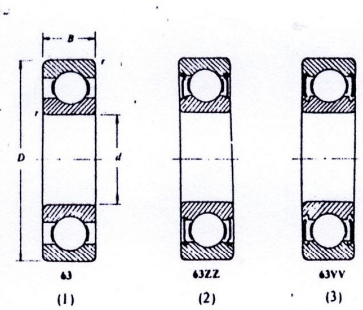
Size	R	d2	Totally enclosed fan-cooled type												Drip-proof type			
			Standard type				Increased safety type (eG3)				Explosion-proof type (d2G4)							
			2P		4P		2P		4P		2P		4P		2P		4P	
			Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)	Rating (kW)	Wt. (kg f)
71	120	14	0.4	7.0	0.4	8.0	0.4	7.2	0.4	9	0.4	17	0.4	17	—	—	—	—
80	140	19	0.75	10.5	0.75	11	0.75	11.5	0.75	12	0.75	22	0.75	22	0.75	9	0.75	10.5
90 L	168.5	24	1.5 / 2.2	17 / 20.5	1.5	20	1.5	18.5	1.5	20	1.5 / 2.2	30	1.5	32	1.5 / 2.2	15.5 / 16	1.5	16
100 L	193	28	—	—	2.2	25	2.2	29	2.2	34.5	—	—	2.2	38	—	—	2.2	22
112M	200	28	3.7	33	3.7	36	3.7	43	3.7	45.5	3.7	54	3.7	55	3.7	27	3.7	30
132 S	239	38	5.5 / 7.5	47 / 55	5.5	49	5.5	60.5	5.5	65	5.5 / 7.5	74	5.5	78	5.5 / 7.5	34 / 42	5.5	40
132M	258	38	—	—	7.5	60	—	—	7.5	74.5	—	—	7.5	88	—	—	7.5	51
160M	323	42	11 / 15	80 / 90	11	85	7.5	90	11	100	11 / 15	125	11	115	11 / 15	65 / 75	11	70
160 L	345	42	18.5	115	15	105	11	120	15	125	18.5	160	15	145	18.5	85	15	85
		48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	105	18.5	110
180M	351.5	48	22	140	18.5 / 22	130 / 145	15 / 18.5	155	18.5	150	22	205	22	200	—	—	—	—
		55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	120	22 / 30	125 / 170

Sumber : Ebara, Anonim

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 12 Pemilihan Bantalan Bola

C_0/F_a		5	10	15	20	25
$F_a/VF_r \leqq e$	X	1				
	Y	0				
$F_a/VF_r > e$	X	0,56				
	Y	1,26	1,49	1,64	1,76	1,85
e		0,35	0,29	0,27	0,25	0,24



Nomor bantalan			Ukuran luar (mm)				Kapasitas	Kapasitas
Jenis terbuka	Dua sekat	Dua sekat tanpa kontak	d	D	B	r	nominal dinamis spesifik C (kg)	nominal statis spesifik C_0 (kg)
6000			10	26	8	0,5	360	196
6001	6001ZZ	6001VV	12	28	8	0,5	400	229
6002	02ZZ	02VV	15	32	9	0,5	440	263
6003	6003ZZ	6003VV	17	35	10	0,5	470	296
6004	04ZZ	04VV	20	42	12	1	735	465
6005	05ZZ	05VV	25	47	12	1	790	530
6006	6006ZZ	6006VV	30	55	13	1,5	1030	740
6007	07ZZ	07VV	35	62	14	1,5	1250	915
6008	08ZZ	08VV	40	68	15	1,5	1310	1010
6009	6009ZZ	6009VV	45	75	16	1,5	1640	1320
6010	10ZZ	10VV	50	80	16	1,5	1710	1430
6200	6200ZZ	6200VV	10	30	9	1	400	236
6201	01ZZ	01VV	12	32	10	1	535	305
6202	02ZZ	02VV	15	35	11	1	600	360
6203	6203ZZ	6203VV	17	40	12	1	750	460
6204	04ZZ	04VV	20	47	14	1,5	1000	635
6205	05ZZ	05VV	25	52	15	1,5	1100	730
6206	6206ZZ	6206VV	30	62	16	1,5	1530	1050
6207	07ZZ	07VV	35	72	17	2	2010	1430
6208	08ZZ	08VV	40	80	18	2	2380	1650
6209	6209ZZ	6209VV	45	85	19	2	2570	1880
6210	10ZZ	10VV	50	90	20	2	2750	2100
6300	6300ZZ	6300VV	10	35	11	1	635	365
6301	01ZZ	01VV	12	37	12	1,5	760	450
6302	02ZZ	02VV	15	42	13	1,5	895	545
6303	6303ZZ	6303VV	17	47	14	1,5	1070	660
6304	04ZZ	04VV	20	52	15	2	1250	785
6305	05ZZ	05VV	25	62	17	2	1610	1080
6306	6306ZZ	6306VV	30	72	19	2	2090	1440
6307	07ZZ	07VV	35	80	20	2,5	2620	1840
6308	08ZZ	08VV	40	90	23	2,5	3200	2300
6309	6309ZZ	6309VV	45	100	25	2,5	4150	3100
6310	10ZZ	10VV	50	110	27	3	4850	3650

Sumber : Sularso, 1980

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN POMPA BRINE KAPASITAS 125 MÂ³/JAM, TOTAL HEAD 17 M DAN TEMPERATUR MINIMUM -15Â° C
Wawan Ari Wibowo, Ir. Prajitno. M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2007 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 13 Sifat Bahan SUS 316

Table 1. Composition ranges for 316 grade of stainless steels.

Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni
316	Min	-	-	-	0	-	16.0	2.00	10.0
	Max	0.08	2.0	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0
316L	Min	-	-	-	-	-	16.0	2.00	10.0
	Max	0.03	2.0	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0
316H	Min	0.04	0.04	0	-	-	16.0	2.00	10.0
	max	0.10	0.10	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0

Mechanical Properties

Table 2. Mechanical properties of 316 grade stainless steels.

Grade	Tensile Str (MPa) min	Yield Str 0.2% Proof (MPa) min	Elong (% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brine n
316	515	205	40	95	2
316L	485	170	40	95	2
316H	515	205	40	95	2

Note: 316H also has a requirement for a grain size of ASTM no. 7 or coarser.

Physical Properties

Table 3. Typical physical properties for 316 grade stainless steels.

Grade	Density (kg/m³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Co-eff of Thermal Expansion (µm/m/°C)			Thermal Conductivity (W/m.K)		Specific Heat 0-100°C (J/kg.K)	Re (
			0-100°C	0-315°C	0-538°C	At 100°C	At 500°C		
316/L/H	8000	193	15.9	16.2	17.5	16.3	21.5	500	

Sumber : Internet