TUGAS AKHIR – TM 145502

PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA *ASAM FLUOSILIKAT* (H_2SiF_6) PADA UNIT PHOSPORIC ACID PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

PRIMA ATMADITZA ZULFIKAR
NRP. 2114 030 092

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
NIP. 19620216 199512 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

TUGAS AKHIR – TM 145502

PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA *ASAM FLUOSILIKAT* (H_2SiF_6) PADA UNIT PHOSPORIC ACID PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

PRIMA ATMADITZA ZULFIKAR
NRP 2114 030 092

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
NIP. 19620216 199512 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

FINAL PROJECT – TM 145502

REDESIGN INSTALATION OF *ASAM FLUOSILIKAT (H_2SiF_6)* PUMP AT UNIT PHOSPORIC ACID PLANT III PT. PETROKIMIA GRESIK

PRIMA ATMADITZA ZULFIKAR
NRP 2114 030 092

Consellor Lecture
Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
NIP. 19620216 199512 1 001

DIPLOMA III
INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERHITUNGAN ULANG INSTALASI POMPA *ASAM FLUOSILIKAT (H_2SiF_6)* PADA UNIT PRODUKSI PHOSPORIC ACID PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

TUGAS AKHIR
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :
PRIMA ATMADITZA ZULFIKAR
NRP. 2114 030 092

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing

Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT
NIP 19620216 199512 1 001

SURABAYA
JULI 2017

PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA *ASAM FLUOSILIKAT (H_2SiF_6)* PADA UNIT PRODUKSI PHOSPORIC ACID PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK

Nama Mahasiswa : Prima Atmaditza Zulfikar
NRP : 2114030092
Jurusan : Dept. Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.

Abstrak

PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen pupuk terbesar di Indonesia. Pada Unit Produksi Phosporic Acid di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, mempunyai kapasitas produksi sebesar 172.450 ton/tahun dan digunakan untuk pembuatan pupuk TSP/SP-36 serta produk samping gypsum dan asam fluosilikat yang digunakan untuk bahan baku unit cemen retarder serta pupuk ZA II. Khusus untuk produksi asam fluosilikat (H_2SiF_6) ini memanfaatkan pompa asam fluosilikat (H_2SiF_6) sebagai media pendistribusiannya yang akan digunakan untuk bahan baku Alumunium Flourida.

Pada tugas akhir ini didapatkan perhitungan ulang instalasi dan pemilihan pompa yang sesuai untuk instalasi pompa asam fluosilikat (H_2SiF_6). Perhitungan head, kapasitas, daya pompa dan efisiensi dilakukan secara analitis dan numerik menggunakan software pipe flow experts.

Pada analisis dan perhitungan ulang ini, didapatkan kapasitas untuk pompa asam fluosilikat (H_2SiF_6) dengan kapasitas maksimal 18,33 m^3/jam dengan head effektif instalasi (Heff) sebesar 14,33 m serta didapatkan daya pompa sebesar 1,612 kW. Sehingga dari hasil perhitungan-perhitungan tersebut dapat dipilih pompa sentrifugal single stage merk Warman Pump dengan type 4-3 SCB EO R/L 4VOR V

Kata kunci : pompa *asam fluosilikat (H_2SiF_6)*, kapasitas, head, daya.

REDESIGN INSTALATION OF
***ASAM FLUOSILIKAT (H_2SiF_6)* PUMP**
AT UNIT PHOSPORIC ACID PLANT III
PT. PETROKIMIA GRESIK

Student's Name	**: Prima Atmaditza Zulfikar**
Student's Number	**: 2114030092**
Department	**: Dept. of Mechanical Industry FV-ITS**
Academic Advisor	**: Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.**

Abstract

PT. Petrokimia Gresik is one of the biggest fertilizer company in Indonesia. On the Phosporic Acid Production Unit Plant III, the capacity production have reached 172.450 tons per year and is used for making fertilizer TSP / SP-36 and byproduct gypsum that will be used to be materials of cemen retarder. On this plant also produced fertilizer ZA II and byproduct as fluosilicate acid (H_2SiF_6). Especially for making fluosilicate acid (H_2SiF_6) is used Fluosilicate Acid (H_2SiF_6) pump as transfer media and will be used as materials for making Flouride Alumina.

In this Final Project, we've got the results of instalation's recalculation and pump selection which are the most suitable for Fluosilicate Acid (H_2SiF_6) pump instalation. Head, capacity, power and efficiency calculation are manually calculated by the author and numerically calculated by Pipe Flow Experts software.

In this analysys and recalculation, we've got the capacity for Fluosilicate Acid (H_2SiF_6) pump with operation capacity 18,33 m^3/hour, H_{eff} 14,33 m and power 1,612 kW. With this results, we should choose an Warman Pump single stage centrifugal pump type 4-3 SCB EO R/L 4VOR V

Keywords : *Fluosilicate Acid (H_2SiF_6)* pump, capacity, head, power.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, serta tak lupa sholawat dan salam saya ucapkan kepada Rasullullah Muhammad SAW, serta para sahabatnya. Berkat rahmat dan karunia Allah SWT sehingga, penulis buku ini dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan tugas akhir dengan judul: "**PERENCANAAN ULANG INSTALASI POMPA *ASAM FLUOSILIKAT* (*H_2SiF_6*) PADA UNIT PRODUKSI PHOSPORIC ACID PABRIK III PT. PETROKIMIA GRESIK"**

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerja sama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** Selaku Dosen pembimbing dan juga kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang telah dengan sabar dan telaten memberi bimbingan serta ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. **Bapak Ir Suhariyanto MT.** Selaku koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
3. **Bapak Dr. Hendro Nurhadi Dipl-Ing, Ph.D.** selaku dosen wali selama saya kuliah di jurusan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak-/Ibu dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini., yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.
5. **Bapak Radit dan Ibu Lisa** sebagai orang tua penulis serta seluruh keluarga lain penulis yang telah memberi dukungan moril dan materiil serta do'a yang tak pernah putus selama ini.

6. **Bapak Dito Renady Harto** selaku pembimbing lapangan pada saat pengambilan data, beserta seluruh karyawan PT. PETROKIMIA GRESIK atas bantuam dan kepercayaan yang telah diberikan.
7. **Ilham Pamuji Utomo dan Wildan Imam Al Ghozie,** selaku *partner* dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Teman-teman kos keputih makam yang senantiasa memberi dukungan seamngat serta masukan bagi penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. **Devina, Ninik, Rany, Renaldy, Andrian,** selaku teman-teman staf prokesma yang telah membantu dan memberi semangat penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. **Dicko, Adelina, Idzmi, dan Kartika** yang telah memberi dukungan serta doa kepada penulis dalan pengerjaan tugas akhir ini.
11. Teman-teman D3MITS khususnya angkatan 2014 serta teman - teman Pemandu IKHLAS, terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
12. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Semoga segala keikhlasan dan beribu kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT.

Saya sebagai makhluk Allah SWT, manusia biasa, saya menyadari bahwasannya penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu , saya mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN JUDUL ii
LEMBAR PENGESAHAN.. iii
ABSTRAK INDONESIA... iv
ABSTRAK INGGRIS v
KATA PENGANTAR.. vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiv

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang...1
1.2 Permasalahan..2
1.3 Batasan Masalah...2
1.4 Tujuan Penulisan..3
1.5 Manfaat Penulisan 3
1.6 Sistematika Penulisan...3

BAB II DASAR TEORI..5
2.1 Tinjauan Umum Pompa..5
    2.1.1 *Asam Fluosilikat (H_2SiF_6) Pump*.. . 5
2.2 Klasifikasi Pompa 5
    2.2.1 Pompa Positive Displacement.. 7
    2.2.2 Pompa Non Positive Displacement..................................... 8
2.3 Pompa Sentrifugal 8
2.4 Komponen Pompa Sentrifugal... 9
2.5 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal.. 11
2.6 Jenis Aliran Fluida.. 13
    2.6.1 Aliran Viscous... 14
    2.6.2 Aliran Laminar dan Turbulen.. 14
    2.6.3 Aliran Internal 15
    2.6.4 Aliran *Incompressible* 16

2.7 Persamaan Kontinuitas 17
2.8 Hukum Pertama Termodinamika... 19
2.9 Tinggi – Tekan (*Head*) 21
2.10 Persamaan Bernoulli... 22
2.11 *Head* Effektif Instalasi Pompa.. 25
2.11.1 *Head* Statis 26
2.11.2 *Head* Ketinggian.. 27
2.11.3 *Head* Dinamis.. 29
2.12 *Net Positive Suction Head* (NPSH) 33
2.12.1 Net Positive Suction Head Available ($NPSH_A$)............. 34
2.12.2 *Net Positive Suction Head Required* ($NPSH_R$).............. 34
2.13 Kurva Karakteristik Pompa 34
2.13.1 Karakteristik Utama 35
2.13.2 Karakteristik Kerja 35
2.13.3 Karakteristik Universal.. 36
2.13.4 Titik Operasi Pompa.. 37
2.14 Pemilihan Pompa Berdasarkan Perhitungan Head dan Kapasitas 38
2.15 Daya Penggerak.. 39
2.15.1 Daya Pompa / Daya Fluida (WHP) 39
2.15.2 Penentuan Putaran Spesifik dan Bentuk Impeller 40
2.15.3 Daya Poros (P_{shaft}).. 40
2.15.4 Nominal Penggerak Mula... 41
2.16 Sistem Perpipaan 42
2.16.1 Material Pipa 43
2.16.2 Kode dan Standar Pipa 43
2.17 Software *Pipe Flow Expert* 44

BAB III METODOLOGI.. 47
3.1 Data-Data Hasil Survey.. 47
3.1.1 Data Pompa 47
3.1.2 Data Fluida 47
3.1.3 Data Pipa 48
3.1.4 Data Eksisting *H_2SiF_6 pump Pipeline* 49
3.2 Studi Literatur... 50

3.3 Pengambilan Data 50
3.4 Menentukan Batas Kecepatan F1uida 50
3.5 Perencanaan Gambar 51
3.6 Perhitungan 51
3.7 Pemilihan Pompa 52
3.8 Kesimpulan 52
3.9 Urutan Pengerjaan menggunakan Flow Chart 53
3.9.1 Diagram Alir Perhitungan Manual 53
3.9.2 Diagram Alir Pemograman Perhitungan Numerik 55

BAB IV PERHITUNGAN 57
4.1 Pengertian Umum 57
4.2 Perencanaan Sistem Distribusi *Asam Fluosilikat* **(**H_2SiF_6) 57
4.2.1 Kebutuhan *Asam Fluosilikat* **(**H_2SiF_6) 57
4.2.2 Perhitungan Sistem Distribusi *Asam Fluosilikat* **(**H_2SiF_6) Sesuai Kondisi di Lapanan 57
4.2.2.1 Pengecekan Diameter Instalasi Perpipaan 57
4.2.2.1.1 Perhitungan Kecepatan Aliran pada Pipa *Suction* ... 58
4.2.2.1.2 Perhitungan Kecepatan Aliran pada Pipa *Discharge* 60
4.2.3 Perhitungan *Head* Effektif Instalasi 62
4.2.3.1 Perhitungn *Head* Statis 62
4.2.3.2 Perhitungan *Head* Dinamis 63
4.2.3.3 Perhitungan *Head Loss* Instalasi 64
4.2.3.3.1 Perhitungan *Head Loss* Mayor pada Pipa *Suction* ... 64
4.2.3.3.2 Perhitungan *Head Loss* Mayor pada Pipa *Discharge* 66
4.2.3.3.3 Perhitungan *Head Loss* Minor pada Pipa *Suction* 67
4.2.3.3.4 Perhitungan *Head Loss* Minor pada Pipa *Discharge* 68
4.2.3.4 Head Effektif Instalasi Pompa 71
4.2.4 Net Positive Suction Head Available ($NPSH_A$) 71
4.2.5 Putaran Spesifik Pompa (n_s) 72
4.3 Daya Penggerak 73
4.3.1 Daya Fluida / Water Horse Power (WHP) 73

4.3.2 Perhitungan Daya Poros 74
4.3.3 Daya Nominal Penggerak Mula 75
4.4 Penentuan Jenis Pompa 78
4.5 Checking Kondisi Perhitungan Menggunakan Software *Pipe Flow Expert* ….. 80
4.5.1 Langkah-langkah permodelan dan simulasi dengan *software*.80
4.5.2 Perhitungan Secara Permodelan Numerik …......................... 81
4.5.3 Perbandingan Head Efektif Teoritis (H_{eff}) dengan Head Efektif Numerik ($H_{eff\ PFE}$)…………….…………………………….. 84

BAB V KESIMPULAN.. 85
5.1 Kesimpulan.. 85
5.2 Saran.. 86

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai koefisien (k) berbagai jenis *fitting* 33
Tabel 2.2 Faktor cadangan 42
Tabel 2.3 Efisiensi transmisi 42
Tabel 3.1 *Fitting* dannilai K pada pipa kondisi eksisting 48
Tabel 3.2 Tabel *recommended velocities of fluids in pipeline*.. 51
Tabel 4.1 Tabel *recommended velocities of fluids in pipeline*... 58
Tabel 4.2 Perhitungan *head loss* total 70
Tabel 4.3 Faktor cadangan 76
Tabel 4.4 Efisiensi transmisi 77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi pompa 6
Gambar 2.2 Klasifikasi pompa *positive displacement* 7
Gambar 2.3 Klasifikasi pompa *non positive displacement* 8
Gambar 2.4 Bagian pompa sentrifugal 10
Gambar 2.5 Bagian aliran fluida di dalam pompa sentrifugal 11
Gambar 2.6 Klasifikasi jenis fluida 13
Gambar 2.7 Profil kecepatan aliran memassuki pipa 15
Gambar 2.8 Persamaan kontinuitas dengan volume atur 19
Gambar 2.9 Metode mengukur *head* 22

Gambar 2.10 Kontrol volume dan koordinat untuk analisis aliran energy yang melewati elbow 90^0 22
Gambar 2.11 *Head* efektif instalasi 26
Gambar 2.12 Instalasi *suction lift* 28
Gambar 2.13 Instalasi *suction head* 28
Gambar 2.14 *Moody Diagram* 32
Gambar 2.15 Karakteristik utama 35
Gambar 2.16 Karakteristik kerja 36
Gambar 2.17 Karakteristik universal 37
Gambar 2.18 Titik operasi pompa 38
Gambar 2.19 Daerah kerja beberapa jenis konstruksi pompa.. 39
Gambar 2.20 Putaran spesifik dan bentuk *impeller* 40
Gambar 2.21 Efisiensi standar pompa 41
Gambar 2.21 Efisiensi standar pompa 41
Gambar 3.1 Skema *suction pipeline* 49
Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan manual 54
Gambar 3.3 Diagram alir pemrograman pipe flow expert 55
Gambar 4.1 Skema *suction head* pompa 62
Gambar 4.2 Iterasi *Colebrook* pada *Ms. Excel* pipa *suction* 65
Gambar 4.3 Putaran spesifik *impeller* 73
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kapasitas dan efisiensi 75
Gambar 4.5 Grafik pemilihan pompa 78
Gambar 4.6 Grafik Performa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *Warman Pump* 79

Gambar 4.7 Instalasi pompa *Asam Fluosilikat (H_2SiF_6)* menggunakan *software pipeflow expert* 82
Gambar 4.8 Instalasi pompa *Asam Fluosilikat (H_2SiF_6)* setelah di *calculate* ………... 82
Gambar 4.9 Instalasi Pompa setelah di calculate …………… 83
Gambar 4.10 Hasil setelah di-*calculate* ……………………… 83

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, pompa memiliki peranan yang sangat vital dalam berbagai bidang, dimana pompa merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk memindahkan fluida atau cairan dari suatu tempat ke tempat lain yang mempunyai perbedaan tekanan atau perbedaan peletakan posisi tertentu. Misalnya pada Unit Produksi Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik, terdapat banyak sekali jenis pompa yang digunakan, salah satu pompa yang digunakan adalah *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* jenis *Centrifugal Pump.*

Asam Fluosilikat (H_2SiF_6) *pump* ini digunakan untuk mendistribusikan kebutuhan asam fluosilikat yang dimasukkan dalam tangki *filter* (FIL 2341) dari tangki *agitator*. Pompa yang digunakan untuk mengalirkan *Asam Fluosilikat* ini memiliki spesifikasi yang berbeda dengan pompa air. Sehingga diperlukan pemilihan jenis pompa secara spesifik untuk memenuhi kebutuhan suatu industri. Masing-masing jenis pompa memiliki kegunaan tersendiri, oleh karena itu sangatlah penting melihat kasus yang terjadi di lapangan sehingga dapat memilih pompa yang tepat. Selain itu, dibutuhkan juga instalasi perpipaan yang mendukung dalam pendistribusiannya, agar memenuhi jumlah kebutuhan produksi pada Unit Produksi Phosphoric Acid di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Untuk mengatasi tahanan, ketinggian dan kerugian tekanan disepanjang instalasi sistem perpipaan, hal-hal yang sering terjadi pada perencanaan instalasi perpipaan adalah tidak diketahuinya laju aliran dan kerugian-kerugian tekanan yang terjadi di setiap pipa, sehingga mengakibatkan pendistribusian fluida kerja yang tidak merata dan distribusi tekanan yang berbeda di setiap pipa.

Mengingat perhitungan laju aliran dan kerugian-kerugian tekanan yang terjadi di setiap pipa dalam instalasi perpipaan sangat penting sekali, maka penulis tertarik untuk menganalisa instalasi perpipaan *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* pada Unit Produksi Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Hasil yang didapat diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perancangan sistem pendistribusian *Asam Fluosilikat*

menuju tangki *filter* (FIL 2341) dari tangki *agitator* (TK-2345) untuk pengembangan di Unit Produksi Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.

1.2 Permasalahan

Pada instalasi *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* di Unit Produksi Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik digunakan dua buah pompa sentrifugal *Single Stage,* namun hanya satu pompa saja yang dioperasikan dan pompa satunya tidak dioperasikan (*stand by*). Pada instalasi perpipaan pompa sentrifugal, kecepatan aliran di dalam pipa harus sesuai dengan kecepatan aliran yang diijinkan berdasarkan fluida kerjanya. Kecepatan aliran baik di sisi *suction* maupun *discharge* harus sesuai dengan *range* yang ada. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini penulis ingin mempelajari Perencanaan Ulang Instalasi *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* pada Unit Produksi Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Hal ini terkait dengan bagaimana *head efektif* instalasi, kapasitas, daya serta pemilihan pompa yang digunakan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya pada Perencanaan Ulang Instalasi *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* pada Unit Produksi Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik
2. Fluida kerja dalam proses adalah *Asam Fluosilikat* dengan suhu konstan 53^0C.
3. Kapasitas yang dihasilkan *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* adalah 18,33 m^3/jam.
4. Kondisi *steady state,* aliran *incompressible*.
5. Perpindahan panas selama proses pemompaan diabaikan.
6. Pembahsan membandingkan antara perhitungan manual dan perhitungan numerik menggunakan *software Pipe Flow Expert*

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

a. Menghitung pemilihan diameter pipa dan jenis pipa sesuai dengan kecepatan aliran yang diijinkan.
b. Menghitung head efektif instalasi pompa.
c. Pemilihan pompa beserta daya yang dibutuhkan.
d. Analisis perhitungan menggunakan perhitungan manual dan numeric dengan menggunakan software *Pipe Flow Expert.*

1.5 Manfaat Penulisan

Dengan dilakukannya pemilihan pompa *Asam Fluosilikat* *(H_2SiF_6)* ini diharapkan :

a. Didapatkan jenis pompa yang sesuai dengan keperluan operasi instalasi pompa *Asam Fluosilikat (H_2SiF_6)* pada Unit Produksi Phosporic Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik.
b. Menambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca tuhas akhir ini tentang pompa sentrifugal.
c. Menambah perbendaharaan tugas akhir mengenai pemilihan pompa sentrifugal.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah yang dipilih, batasan permasalahan, tujuan penulisan, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini memaparkan tentang persamaan-persamaan yang mendasari perumusan masalah, teori *internal flow*, *head loss*, *head efektif* instalasi, kurva karakteristik pompa dan pengenalan *Software Pipe Flow Expert.*

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan data-data yang diperoleh dari survey di lapangan dan diagram alir proses penulisan tugas akhir secara umum, perhitungan manual serta perhitungan numerik menggunakan *Software Pipe Flow Expert.*

BAB IV PERHITUNGAN

Bab ini memuat tentang perhitungan-perhitungan sistem perpipaan, *head loss*, *head efektif* instalasi, daya, efisiensi, dan pemilihan pompa.

BAB V PENUTUP

Berisikan penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Kesimpulan memuat pernyataan singkat dan tepat dari hasil perhitungan dan pembahasan. Saran memuat masukan-masukan yang bermanfaat dan sebagai tinjauan untuk perancangan atau perhitungan berikutnya.

LAMPIRAN

BAB II
DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum Pompa

Pompa merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk memindahkan fluida atau cairan dari suatu tempat ke tempat lain yang mempunyai tekanan atau perbedaan peletakan posisi tertentu, sehingga tidak memungkinkan fluida tersebut untuk mengalir secara alami. Selain itu, pompa juga bertugas memberikan tekanan tertentu terhadap fluida, untuk maksud-maksud tertentu dalam suatu proses.

Dalam kerjanya, pompa menaikkan energi fluida atau cairan yang mengalir dari tempat bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi dan bersamaan dengan itu bisa mengatasi tekanan hidrolis sepanjang jalur perpipaan yang digunakan. Energi yang digunakan bisa dari motor listrik, motor bakar turbin uap, turbin gas maupun tenaga angin.

Dalam dunia industri, pompa merupakan sarana untuk mentransfer bahan mentah dan bahan setengah jadi. Ada juga pompa yang digunakan sebagai sarana sirkulasi fluida atau injeksi bahan adiktif untuk keperluan-keperluan proses produksi.

2.1.1 *Asam Fluosilikat (H_2SiF_6) Pump*

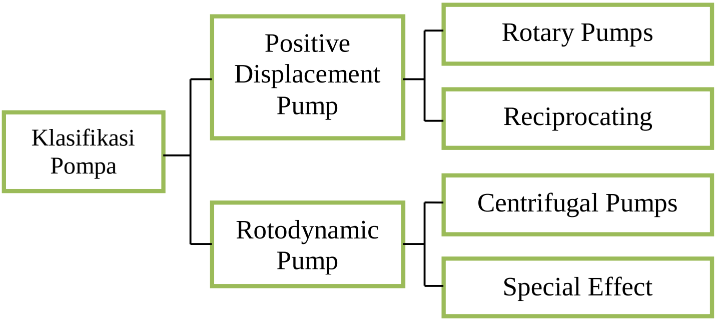
Asam Fluosilikat (H_2SiF_6) atau pompa 30-P-2345 adalah centrifugal pump yang merupakan equipment di PT. Petrokimia Gresik, dan terdapat di Unit Produksi Phosphoric Acid bagian reaction pada Pabrik III. Pompa 30-P-2345 ini merupakan centrifugal pump single stage, yaitu terdiri dari satu impeller dan satu casing.

Pada pompa 30-P-2345 ini mensirkulasikan larutan Asam Fluosilikat (*H_2SiF_6*) dari H_2SiF_6 tank (TK-2345) menuju filter tank (FIL-2341).

2.2 Klasifikasi Pompa

Berdasarkan prinsip kerja dalam memindah cairan yang dipompakan, pompa dibagi menjadi dua kelompok berdasar prinsip

kerjanya, yaitu pompa *Positive Displacement* dan pompa *Non Positive Displacement*.



Gambar 2.1 Klasifikasi Pompa

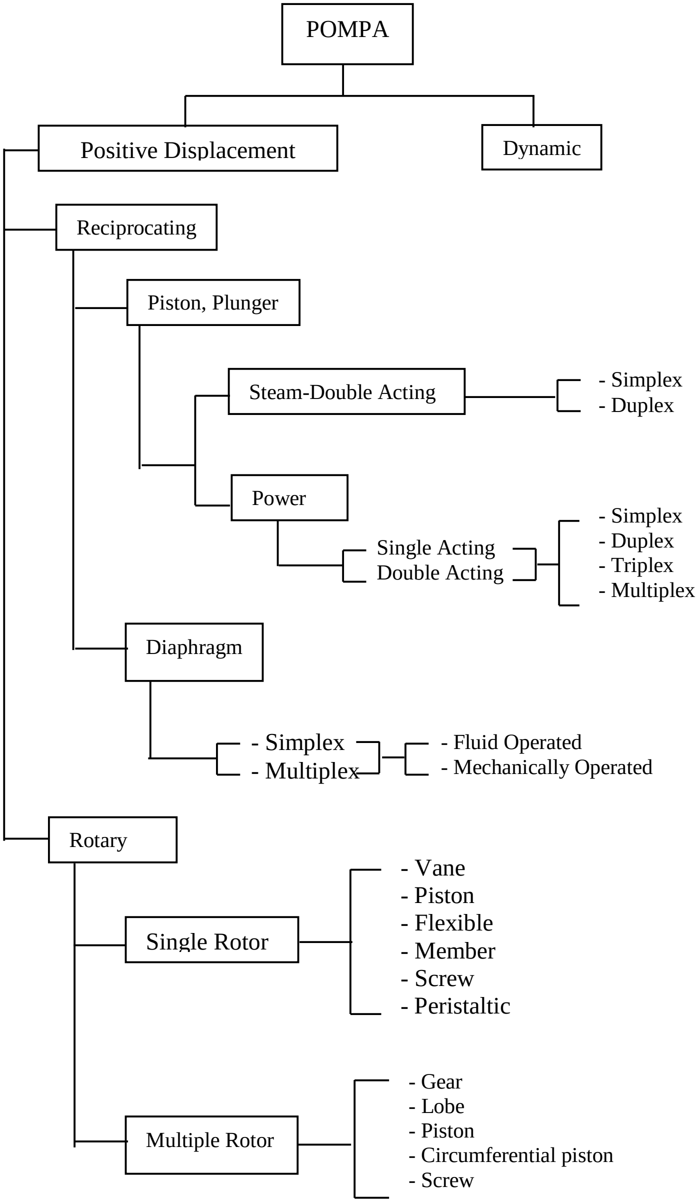
2.2.1 *Positive Displacement Pump*

Positive displacement pump adalah salah satu jenis pompa dimana pemindahan cairan saat proses kerjanya disertai dengan perubahan volume ruang kerja pompa yang ditempati oleh cairan. Akibatnya, ada gesekan antara elemen yang bergerak. Saat elemen bergerak baik dengan berputar maupun dorongan, maka volume ruang kerja pada pompa akan berubah menjadi semakin kecil dan tekanan menjadi lebih besar, sehingga terjadi perpindahan zat cair dari tekanan tinggi ke tekanan rendah.

Adapun ciri-ciri dari pompa positive displacement adalah sebagai berikut :

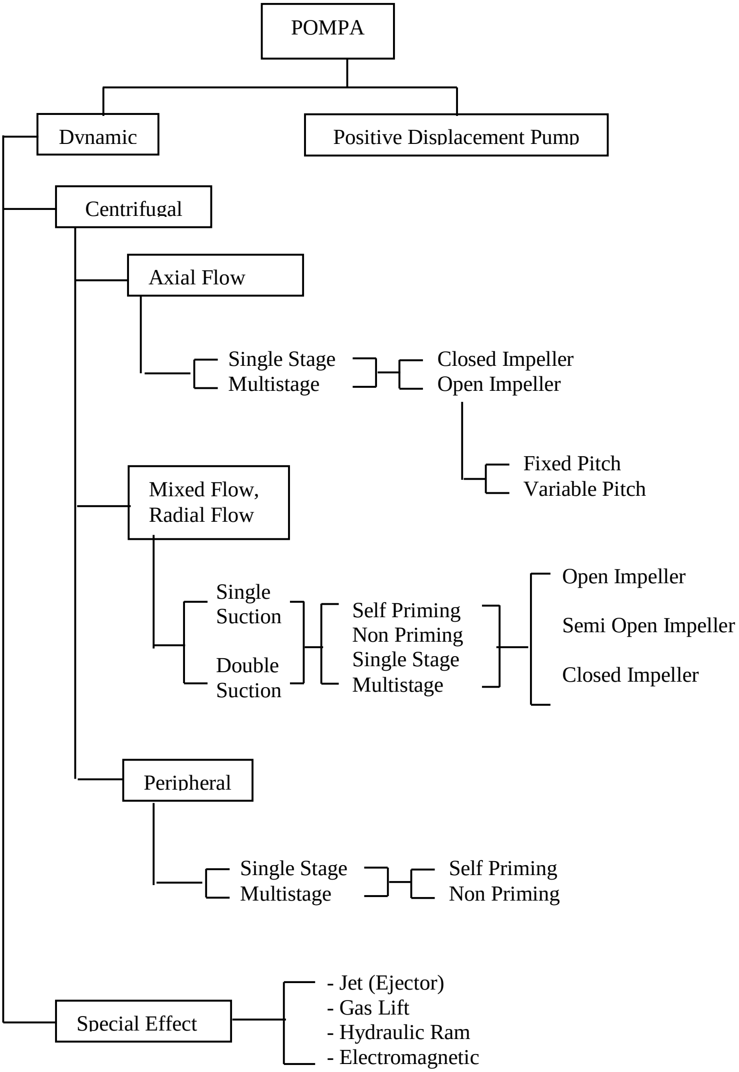
1. *Head* yang dihasilkan relative lebih tinggi dengan debit atau kapasitas yang relatif lebih kecil.
2. Mampu beroperasi pada *suction* yang kering, sehingga tidak memerlukan proses *priming* pada awal operasi atau menjalankan pompa.

Berdasarkan gerakan elemen yang bergerak, pompa *positive displacement* dibagi menjadi dua, yaitu pompa *reciprocating* yang memiliki gerakan maju-mundur dan pompa *rotary* yang memiliki gerakan berputar. Berikut ini adalah klasifikasi atau jenis pompa positive displacement dan masing-masing contoh pompanya.



Gambar 2.2 Klasifikasi Pompa *Positive Displacement*

2.2.2 Pompa *Non Positive Displacement*



Gambar 2.3 Klasifikasi Pompa *Non Positive Displacement*

Pada pompa *non positive displacement*, perpindahan zat cair disebabkan oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh adanya gerakan dari sudu-sudu atau *impeller*. Pompa ini mempunyai prinsip kerja yaitu mengkonversi energi kinetik yang selanjutnya dirubah menjadi energi potensial.

Ciri-ciri pompa *non positive displacement* adalah sebagai berikut :

1. *Head* yang dihasilkan relatif rendah dengan debit cairan yang lebih tinggi.
2. Tidak mampu beroperasi pada *suction* yang kering. Oleh sebab itu pipa *suction* harus berisi air penuh dengan air sampai dengan *impeller* pompa.

Yang termasuk dalam jenis pompa *non positive displacement* adalah sebagai berikut.

2.3 Pompa Sentrifugal

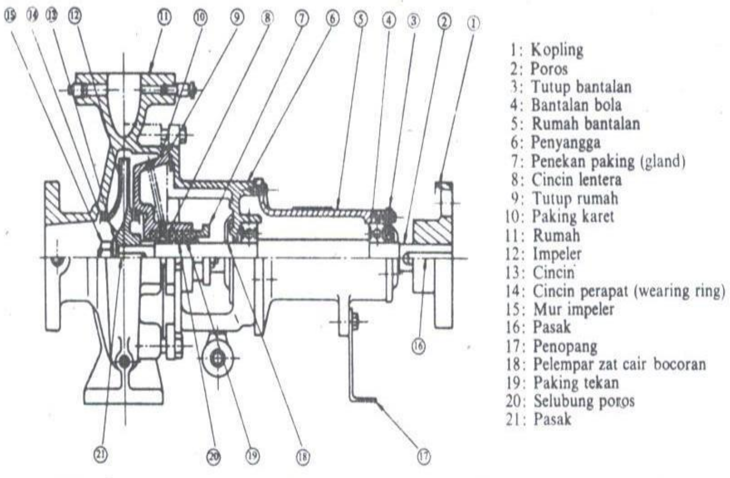
Pompa Sentrifugal adalah suatu pompa dengan piringan bersudu yang berputar untuk menaikkan momentum fluidanya. Prinsip kerjanya adalah dengan adanya putaran impeller, partikel-partikel fluida yang berada dalam *impeller* digerakkan dari *inlet suction* yang bertekanan vacuum ke *discharge* dengan tekanan atmosfer (atm). Gerakan ini menyebabkan tekanan yang ada dalam *inlet* terus menuju *casing* pompa selama fluida mengalir di dalam *impeller*. Partikel dipercepat dengan menaikkan tenaga kinetisnya. Energi kinetis ini dirubah menjadi energi potensial pada *casing*.

Berdasarkan arah alirannya, dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu :

a. Pompa aliran aksial (*Axial Flow*)
b. Pompa aliran radial (*Radial Flow*)
c. Pompa aliran gabungan (*Mixed Flow*)

2.4 Komponen Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal pada dasarnya terdiri dari satu *impeller* atau lebih dan dilengkapi dengan sudu-sudu yang dipasang pada satu poros yang berputar. *Impeller* tersebut diselubungi atau ditutupi dengan sebuah rumah *(casing)*.



Gambar 2.4 Bagian pompa sentrifugal
(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan)

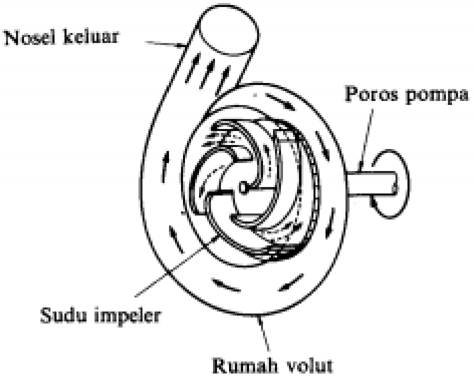
Pada umumnya, bagian pompa sentrifugal terdiri dari :

- *Impeller* : untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perbedaan tekanan antara *suction* dengan *discharge*, dan juga karena perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.
- *Casing*, karena didalamnya tedapat rumah keong *(Volute Chamber)* yang merupakan tempat memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis *(single stage).*
- *Stuffing Box*, berfungsi untuk menerima kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*.
- *Packing*, digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros.

- *Shaft*, berfungsi untuk meneruskan momen punter dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.
- *Shaft Sleeve,* berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box.*
- *Vane*, sudu *impeller* sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller*.
- *Eye of Impeller*, merupakan bagian sisi masuk pada arah isap impeller.
- *Casing wearing ring,* berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan *impeller* maupun bagian belakang *impeller*, dengan car memperkecil celah antara *casing* dengan *impeller.*
- *Discharge Nozzle,* berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari *impeller*. Di dalam *nozzle* ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan.

2.5 Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Pada Gambar 2.5, impeller digunakan untuk mengangkat atau melemparkan fluida atau zat cair dari *suction* menuju *discharge*. Daya dari motor diberikan kepada poros untuk memutar impeller yang ada di dalam *casing*. Fluida yang ada di dalam impeller akan terlempar ke atas akibat dari sudu yang berputar. Karena timbul gaya sentrifugal, maka zat cair mengalir dari tengah impeller ke luar melalui saluran diantara sudu-sudu. Disini *head* tekanan fluida akan menjadi lebih tinggi. Demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena fluida mengalami percepatan. Fluida yang keluar dari impeller ditampung oleh saluran berbentuk *volute* di keliling impeller dan disalurkan ke luar pompa melalui nozel. Di dalam nozel ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan aliran fluida yang melewati impeller dari pompa sentrifugal :



Gambar 2.5 Bagian aliran fluida di dalam pompa sentrifugal
(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan)

Keuntungan Pompa Sentrifugal dibandingkan pompa Reciprocating diantaranya adalah :

1. Karena tidak menggunakan mekanisme katup, pompa ini dapat digunakan untuk memompa fluida yang mengandung pasir atau Lumpur.
2. Aliran yang dihasilkan lebih kontinyu (*continue*) bila dibandingkan dengan pompa reciprocating yang alirannya tersendat-sendat (*intermittent*).
3. Harga pembelian murah dan mudah perawatannya.
4. Karena tidak terjadi gesekan antara impeller dan casingnya sehingga keausannya lebih kecil.
5. Pengoperasiannya, pada putaran tinggi dapat dihubngkan langsung dengan motor penggeraknya.
6. Karena ukurannya relatif kecil, maka bobotnya ringan dan pondasinya kecil.

Kerugian Pompa Centrifugal dibandingkan Pompa Reciprocating adalah sebagai berikut.

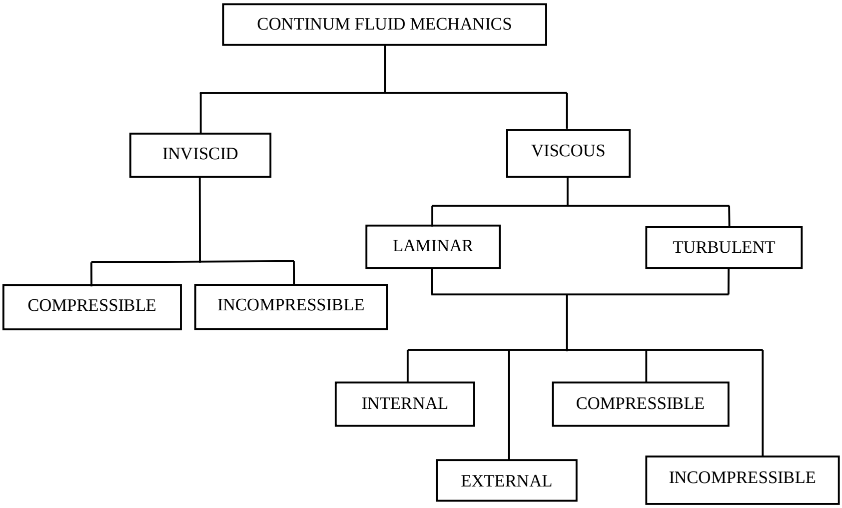
1. Untuk kapasitas kecil dan *head* yang besar, efisiensinya lebih kecil.

2. Agar pompa dapat bekerja lebih efisien, maka pompa harus bekerja pada titik kerjanya saja.
3. Untuk pompa dengan *head* yang tinggi dan kapasitas rendah sulit dibuat, terkecuali dibuat dengan tingkat yang lebih banyak (*multistage pump*)
4. memerlukan priming untuk menggerakkannya.

2.6 Jenis Aliran *Fluida*

Karena sulitnya menganalisa partikel cairan secara mikroskopis, maka dilakukan pendekatan secara makroskopis dengan anggapan sudah cukup memadahi, ini berarti kita harus mengansumsikan *fluida* yang *"continum",* sebagai konsekuensinya bahwa seluruh *properties fluida* merupakan suatu fungsi dari kedudukan dan waktu.

Dengan adanya *properties fluida* ini, maka unjuk kerja pompa juga akan berpengaruh. Karena ada variasi dari bentuk aliran yang dihasilkan. Keberadaan bentuk aliran ini sangat menentukan di dalam perencanaan instalasi pompa.



Gambar 2.6 Klasifikasi jenis fluida

2.6.1 Aliran *Viscous*

Aliran *viscous* adalah jenis aliran fluida yang memiliki kekentalan atau viscous (μ > 0). Viskositas fluida sangat berpengaruh saat fluida mengalir di suatu plat datar ataupun pipa yang dapat menghasilkan tegangan geser di dinding saluran tersebut.

2.6.2 Aliran *Laminar* dan *Turbulen*

Aliran suatu *fluida* dibedakan menjadi dua tipe, yaitu aliran *laminar* dan aliran *turbulen.* Aliran dikatakan *laminar* bila partikel-partikel *fluida* yang bergerak secara teratur mengikuti lintasan yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan yang sama. Aliran ini terjadi bila kecepatan kecil dan kekentalan yang besar. Sedangkan aliran disebut *turbulen* bila tiap partikel *fluida* bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-rata saja yang mengikuti sumbu pipa. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan *fluida* yang kecil.

Kekentalan *(viskositas)* berpengaruh besar sehingga dapat meredam gangguan yang mengakibatkan aliran menjadi *turbulen.* Dengan berkurangnya kekentalan dan bertambahnya kecepatan aliran maka daya redam terhadap gangguan akan berkurang yang sampai pada batas tertentu akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran dari *Laminar* menjadi *Turbulen*.

Koefisien gesekan untuk suatu pipa silindris merupakan *Bilangan Reynold (Re).* Untuk menentukan tipe aliran apakah *laminar* atau *turbulen* dapat digunakan rumus di bawah ini :

$$\text{Re} = \frac{\overline{V}.D}{\upsilon} \qquad (2.1)$$

Dimana :

Re = bilangan *Reynold*

$\overline{V}$ = kecepatan aliran *fluida* (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

υ = *viskositas kinematik* zat cair (m^2/s)

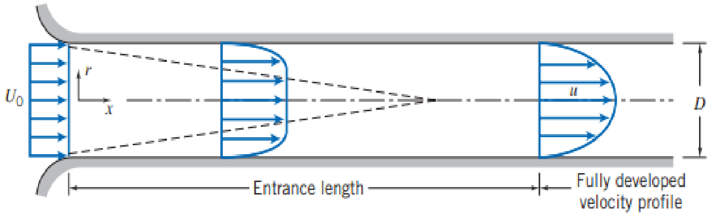
Bila : $Re \leq 2300$, aliran bersifat *laminar*
$2300 \leq Re \leq 4000$, aliran bersifat *transisi*
$Re \geq 4000$, aliran bersifat *turbulen*

Aliran *transisi* merupakan dimana aliran dapat bersifat *laminar* atau *turbulen* tergantung dari kondisi pipa dan aliran.

2.6.3 Aliran *Internal*

Aliran *internal* adalah aliran dimana *fluida* yang mengalir yang dibatasi oleh suatu batasan atau *boundary* berupa benda *solid,* seperti aliran yang berada di dalam pipa.

Aliran *external* adalah aliran yang tidak dibatasi oleh suatu permukaan zat lainnya atau aliran yang melintasi suatu permukaan benda seperti plat. Batasan kontrol volume yang biasanya digunakan adalah hingga *fluida* yang melewati suatu benda *solid* (padat).



Gambar 2.7 Profil kecepatan aliran memasuki pipa
(Sumber : Fox and McDonald, Introduction to Fluid Mechanics)

Aliran yang masuk pada pipa adalah aliran *uniform* dengan kecepatan U_0 . Karena aliran merupakan aliran *viscous*, maka pada dindingnya terjadi lapisan batas (*boundary layer*). Aliran *viscous* yang ada di dalam *boundary layer* tersebut pengaruh *viskositas*nya relatif besar, sehingga profil kecepatannya tidak *uniform* lagi seperti pada gambar 2.5.

Perubahan profil kecepatan dalam aliran ini memiliki batas tertentu. Apabila *boundary layer* tersebut bertemu pada satu titik, maka profil kecepatannya akan tetap. Aliran yang telah berkembang penuh ini dinamakan aliran *fully developed*. Jarak dari saat mula-mula aliran masuk sampai menjadi *fully developed*

disebut dengan *Extrance Length.* Kecepatan aliran rata-rata yang terjadi adalah :

$\overline{V}$ ini tentunya harus bernilai sama dengan U_0. Jadi, nilai $\overline{V}$ = U_0 = konstan. Panjang *extrance length* (L) untuk aliran *laminar* merupakan fungsi bilangan *reynold* :

$$\frac{L}{D} \cong 0{,}06 \frac{\rho.\overline{V}.D}{\mu}$$

Dimana :

$\overline{V} = \dfrac{Q}{A}$ adalah kecepatan rata-rata.

- Karena laju aliran (*flow rate*)

  Q = $A.\overline{V} = A.U_0$, dimana $\overline{V} = U_0$

Untuk aliran *laminar* dalam pipa Re < 2300, maka *extrance length* (L) didapat:

$$L \cong 0{,}06 \,\text{Re}.D \leq (0{,}06)(2300)D = 138D$$

(Ref: Fox and McDonald, Introduction to Fluid Mechanics)

Sedangkan untuk aliran *turbulen*, karena *boundary layer* muncul lebih cepat maka panjang *extrance length* akan menjadi lebih pendek yaitu ± 25 sampai 40 kali diameter pipa.

2.6.4 Aliran *Incompressible*

Aliran Inkompressibel adalah aliran yang melewati sutau benda padat dan apabila terjadi perubahan temperatur yang dapat berpengaruh pada *density*/ massa jenis (P), hal ini dpaat diabaikan karena perubahan density tidak berpengaruh secara signifikan contoh adalah fluida cair ($\rho_1 = \rho_2$)

Untuk dapat membedakan jenis aliran *compressible* atau *incomprsessible* tersebut, dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan bilang *Mach* (M)

$$M = \frac{\overline{v}}{c}$$

Dimana :
M = bilangan Mach
$\bar{v}$ = Kecepatan rata-rata aliran
c = Kecepatan rambat bunyi lokal

Sehingga untuk *mach number* < 0.3 adalah aliran *Incompressible*. Sedangkan untuk mach number > 0,3 adalah aliran *compressible*.

2.7 Persamaan Kontinuitas

Suatu sistem dapat didefinisikan sebagai kumpulan yang massanya tidak berubah, sehingga prinsip kekekalan massa dapat ditulis secara sederhana, sebagai berikut :

$$\left.\frac{dM}{dt}\right)_{system} = 0$$

Dimana laju perubahan massa terhadap waktu adalah 0. Umumnya massa *system* (M_{sys}) dapat dinyatakan sebagai berikut dengan pengintegralan meliputi seluruh volume sistem :

$$M_{sys} = \int_{M\,(sys)} dm = \int_{\forall(sys)} \rho . d\forall$$

Hubungan persamaan antara sistem dan *control volume* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\left.\frac{dN}{dt}\right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} \eta.\rho.d\forall + \int_{CS} \eta.\rho.\bar{V}.dA$$

Dimana,

$$N_{system} = \int_{M\,(system)} \eta.dm + \int_{\forall(system)} \eta.\forall$$

Untuk sebuah persamaan *control volume* dari konservasi, maka dapat ditulis dengan N=M dan $\eta = 1$. Sehingga bila disubtitusikan akan menjadi persamaan :

$$\left.\frac{\partial M}{\partial t}\right)_{system} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} \rho . d\forall + \int_{CS} \rho . \overline{V} . dA$$

Sehingga persamaan kontinyuitas atau konversi massa, dapat ditulis sebagai berikut :

$$0 = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} \rho . d\forall + \int_{CS} \rho . \overline{V} . dA$$

Dengan asumsi :

- Aliran fluida adalah inkompresibel
- Aliran fluida kerjanya adalah steady state

Sehingga persamaan di atas menjadi :

$$0 = \cancel{\frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} \rho . d\forall} + \int_{CS} \rho . \overline{V} . dA$$

Menjadi,

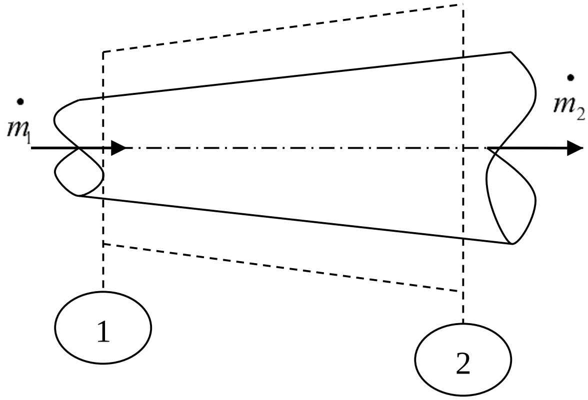
$$0 = \int_{CS} \rho . \overline{V} . dA$$

Dengan mengintegralkan persamaan di atas, maka di dapat persamaan kontinuitas sebagai berikut :

$$0 = -\left[\rho_1 . \overline{V_1} . A_1\right] + \left[\rho_2 . \overline{V_2} . A_2\right]$$

Atau

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \qquad \textit{(2.2)}$$



Gambar 2.8 Persamaan kontinuitas dengan volume atur

Dimana :

ρ = *density* (kg/m^3)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

A = Luas penampang (m^2)

2.8 Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika menyatakan tentang kekekalan energi *(conservation of energy)*. Persamaannya sebagai berikut :

$$(\dot{Q} - \dot{W}) = \left[\frac{dE}{dt}\right]_{system} \qquad (2.3)$$

Dimana energi total :

$$E_{system} = \int_{M\,(system)} e.dm = \int_{\forall(system)} e.\rho.d\forall$$

Dengan nilai dari energi dalam adalah :

$$e = u + \frac{\overline{V^2}}{2} + g.z$$

Dengan $\dot{Q}$ bernilai positif bila panas yang diberikan ke sistem dan sekelilingnya, sedangkan $\dot{W}$ bernilai positif bila kerja diberikan dari sistem ke sekelilingnya. Hubungan antara sistem dan kontrol volume adalah :

$$\left[\frac{dN}{dt}\right]_{system} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} \eta.\rho.d\forall + \int_{CS} \eta.\rho.\overline{V}.dA \qquad (2.4)$$

Dimana : $N_{system} = \int_{m(system)} \eta.dm + \int_{\forall(system)} \eta.\rho.d\forall$

Untuk menurunkan perumusan volume dari hukum pertama termodinamika **N = E** dan **n** = **e** sehingga diperoleh persamaan :

$$\left[\frac{dN}{dt}\right]_{system} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} e.\rho.d\forall + \int_{CS} e.\rho.\overline{V}.dA$$

Pada saat t_0 sistem berhimpit dengan kontrol volume sehingga,

$$(\dot{Q} - \dot{W})_{CS} = (\dot{Q} - \dot{W})_{CV}$$

Dari persamaan 2.3 Dan 2.4 Didapat :

$$(\dot{Q} - \dot{W}) = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} e.\rho.d\forall + \int_{CS} e.\rho.\overline{V}.dA \qquad (2.5)$$

Besarnya kerja pada volume atur dibagi menjadi empat kelompok, yaitu :

$$\dot{W} = \dot{W}_s + \dot{W}_{normal} + \dot{W}_{shear} + \dot{W}_{other}$$

Maka hukum pertama termodinamika menjadi :

$$(\dot{Q}-\dot{W}_s-\dot{W}_{normal}-\dot{W}_{shear}-\dot{W}_{other})=\frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} e.\rho.d\forall+\int_{CS} e.\rho.\bar{V}.dA \qquad (2.6)$$

Dimana:

$\dot{W}\,shaft$ = kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh tegangan poros

$\dot{W}\,normal$ = kerja persatuan waktu yang ditimbulkan oleh tegangan normal

$\dot{W}\,shear$ = kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh tegangan geser

$\dot{W}\,other$ = kerja persatuan waktu yang diakibatkan oleh kelistrikan

2.9 Tinggi - Tekan *(Head)*

Head / tinggi tekan adalah ketinggian kolom *fluida* yang harus dicapai *fluida* untuk memperoleh jumlah energi yang sama dengan yang dikandung oleh satu satuan bobot *fluida* yang sama. *head* ini ada dalam tiga bentuk, yaitu :

2.1 *Head* Potensial

Didasarkan pada ketinggian *fluida* di atas bidang datar. Jadi suatu kolom *fluida* setinggi 1 meter mengandung jumlah energi yang disebabkan oleh posisinya dan dikatakan *fluida* tersebut memiliki *head* sebesar 2 meter kolom air (Z).

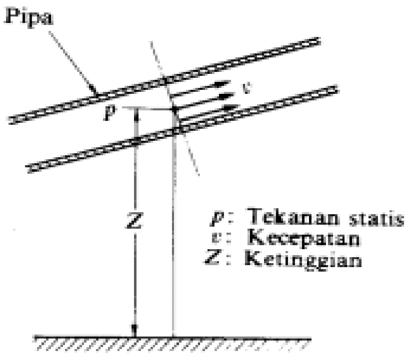
2.2 *Head* Kecepatan / Kinetik

Suatu ukuran energi kinetik yang dikandung satu satuan bobot *fluida* yang disebabkan oleh kecepatan dan dinyatakan dengan persamaan $\frac{\bar{V}^2}{2.g}$.

2.3 *Head* Tekanan

Energi yang dikandung *fluida* akibat tekanannya yang dinyatakan dengan persamaan $\frac{P}{\gamma}$.

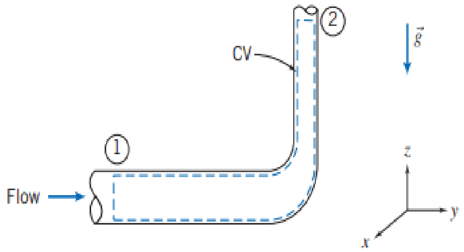
Energi mekanik total adalah energi fluida yang memiliki kemampuan untuk melakukan kerja. Ketinggian (Z) yang dimiliki aliran diukur dari bidang datar yang sudah ditentukan. Berikut ini adalah gambar yang memperjelas untuk tinggi tekan (*Head*) yang dimiliki aliran :



Gambar 2.9 Metode Mengukur *Head*
(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan,Cetakan pertama)

2.10 Persamaan Bernoulli

Persamaan ini didapat dari penurunan persamaan Hukum Termodinamika I (Persamaan 2.6)



Gambar 2.10 Kontrol Volume dan koordinat untuk analisis aliran energi yang melewati elbow 90^0
(Sumber : Fox and McDonald, Introduction to Fluid Mechanics)

Untuk mengkaji energi yang hilang atau kerugian tinggi tekan yang terjadi pada aliran yang melalui pipa, digunakan persamaan energi, yaitu :

$$(\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{normal} - \dot{W}_{shear} - \dot{W}_{other}) = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} e.\rho.d\forall + \int_{CS} (e + Pv).\rho.\overline{V}.dA \quad (2.7)$$

Dimana :

$$e = u + \frac{\overline{V}^2}{2} + g.z$$

Dengan asumsi :

1. $\dot{W}_s = 0$, $\dot{W}_{other} = 0$
2. $\dot{W}_{shear} = 0$ (meskipun terdapat tegangan geser pada dinding-dinding belokan, tetapi kecepatan pada dinding adalah nol)
3. *Steady Flow* (∀ = 0)
4. *Incompressible*
5. Energi dalam dan tekanan pada tiap penampang *uniform.*

Dengan asumsi di atas, maka persamaan 2.7 menjadi :

$$\dot{Q} = \dot{m}.(u_2 - u_1) + \dot{m}\left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho}\right) + \dot{m}.g.(z_2 - z_1) + \left(\int_{A_2} \frac{\overline{V_2}^2}{2}.\rho.\overline{V_2}.dA_2 - \int_{A_1} \frac{\overline{V_1}^2}{2}.\rho.\overline{V_1}.dA_1\right)$$

Karena aliran bersifat *viscous,* terlihat pada gambar bahwa kecepatan aliran pada penampang 1 dan 2 tidak *uniform.* Untuk menyelesaikannya, digunakan kecepatan rata-rata ke dalam persamaan energi. Untuk mengeliminasi tanda integral digunakan koefisien energi kinetik (α).

$$\dot{Q} - \dot{W}_{shaft} = \dot{m}.(u_2 - u_1) + \dot{m}\left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho}\right) + \dot{m}.g.(z_2 - z_1) + \dot{m}\left(\alpha_2\frac{\overline{V_2}^2}{2} - \alpha_1\frac{\overline{V_1}^2}{2}\right) \quad (2.8)$$

Dimana

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = (u_2 - u_1) + \left(\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho}\right) + (g.z_2 - g.z_1) + \left(\alpha_2 \frac{\overline{V_2}^2}{2} - \alpha_1 \frac{\overline{V_1}^2}{2}\right)$$

dan, $u = h + P.v$

$$(u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{\partial m} = H_{loss}$$

Maka persamaan 2.8 Menjadi :

$$\dot{Q} - \frac{W}{\dot{m}.g} = \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{\overline{V_2}^2}{2} + g.z_2\right) - \left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\overline{V_1}^2}{2} + g.z_1\right) = (u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{\partial m} \qquad (2.9)$$

Dimana :

$(u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{\partial m}$ = kerugian energi dalam karena energi panas yang timbul disebabkan oleh gesekan *fluida* cair dengan dinding saluran (H_{loss}).

Bila persamaan 2.9 dikalikan dengan $\frac{1}{g}$ maka persamaan menjadi :

$$\left(\frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{\overline{V_2}^2}{2.g} + z_2\right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{\overline{V_1}^2}{2.g} + z_1\right) = Head \qquad (2.10)$$

Dengan asumsi aliran *uniform* pada tiap penampang, maka :

$$\alpha_2 = \alpha_1 = 0$$

Sehingga persamaan menjadi,

$$Head = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{\overline{V_2}^2 - \overline{V_1}^2}{2.g}\right) + (z_2 - z_1) \qquad (2.11)$$

Untuk laluan yang aktual, tinggi - tekan tidak selalu bernilai konstan. Hal ini dikarenakan oleh rugi-rugi *turbulensi* yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$Head = \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\overline{V_1}^2}{2.g} + z_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{\overline{V_2}^2}{2.g} + z_2 \right) + \sum H_{LT} \qquad (2.12)$$

Dimana :

$P_1 =$ tekanan pada kondisi awal (*suction*)

$P_2 =$ tekanan pada kondisi akhir (*discharge*)

$\overline{V}_1 =$ kecepatan pada kondisi awal (*suction*)

$\overline{V}_2 =$ kecepatan pada kondisi akhir (*discharge*)

$\sum H_{LT} =$ jumlah *Head loss total*

Energi total yang diberi tanda H sama dengan ketinggian tinggi tekan , atau :

$$\left(\frac{P}{\gamma} + \frac{\overline{V}^2}{2.g} + z \right) = H$$

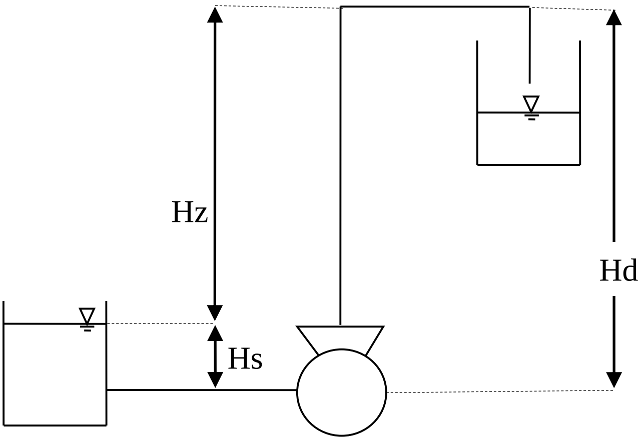
Karena energi tidak dapat muncul atau hilang begitu saja, H adalah konstan (dengan mengabaikan rugi-rugi). Persamaan ini disebut dengan persamaan *Bernoulli.*

2.11 *Head* Effektif Instalasi Pompa

Merupakan besarnya *head* yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen yang ada, diantaranya adalah karena perbedaan tekanan, perbedaan kecepatan, perbedaan kerugian (kerugian mekanis, volumetris, dinamis dan kerugian listrik). Persamaan *head* instalasi sebagai berikut :

$$H_{eff} = \sum H_{st} + \sum H_{din}$$

$$H_{eff} = \left(\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d - H_s) \right) + \left(\left(\frac{\overline{V}_d^{\,2} - \overline{V}_s^{\,2}}{2.g} \right) + \sum H_{LT} \right) \quad (2.13)$$



Gambar 2.11 Head efektif instalasi

2.11.1 *Head* Statis

Adalah perbedaan tinggi permukaan fluida pada bagian hisap dengan bagian tekan. *Head statis* tidak dipengaruhi oleh debit, hanya pada perbedaan tekanan dan ketinggian.

$$\sum H_{st} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + (H_d - H_s) \qquad (2.14)$$

Dimana :

H_{st} = *Head Statis* total (m)

P_1 = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)

P_2 = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)

γ = berat jenis *fluida* $\left(\frac{N}{m^3} \right)$

H_d = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)

H_s = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

- *Head statis* terdiri dari :

1. ***Head* tekanan *(Pressure Head)***

Merupakan energi yang terdapat di dalam *fluida* akibat perbedaan tekanan antara *discharge reservoar* dan *suction reservoar*.

$$H_P = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \qquad (2.15)$$

Dimana :

H_p = *Head statis* total (m)
P_1 = tekanan pada kondisi *suction* (Pa)
P_2 = tekanan pada kondisi *discharge* (Pa)
γ = berat jenis *fluida* $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

2.11.2 *Head* ketinggian *(Elevation Head)*

Merupakan perbedaan ketinggian dari permukaan *fluida* pada sisi *discharge reservoar* dan *suction reservoar* dengan acuan garis sumbu tengah pompa.

$$H_z = H_d - H_s \qquad (2.16)$$

Dimana :

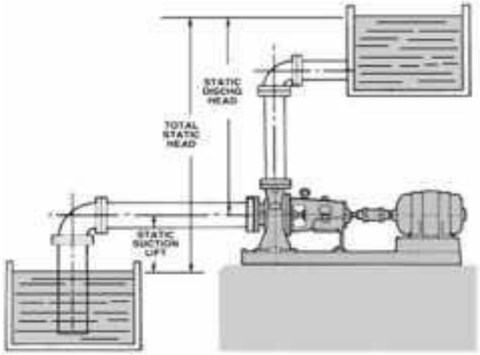
H_z = *Head* elevasi (m)
H_d = jarak / ketinggian sisi *discharge* (m)
H_s = jarak / ketinggian sisi *suction* (m)

Terdapat dua macam ketinggian *head* instalasi , yaitu:

a. *Suction Lift*

Suction lift adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari permukaan *fluida* yang harus dipompakan terhadap garis sumbu tengah pompa. *Suction Lift* diperoleh mulai dari garis tengah sumbu pompa sampai permukaan sumber suplai (*suction*

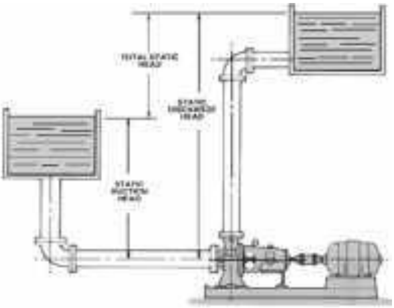
tank). Gambar 2.10 merupakan contoh instalasi *suction Lift.* Nilai $(H_d - H_s)$ bernilai positif (+), karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih rendah dari sumbu tengah pompa.



Gambar 2.12 Instalasi *suction lift*

b. *Suction Head*

Suction head adalah jarak vertikal dalam satuan *feet* atau *meter* dari garis sumbu tengah pompa hingga ketinggian *fluida* yang dipompakan. *Suction head* diperoleh mulai dari permukaan sumber suplai (*suction tank)* yang berada di atas garis tengah sumbu pompa. Gambar 2.10 merupakan contoh instalasi *suction head.* Nilai $(H_d - H_s)$ bernilai negatif (-) , karena permukaan zat cair pada sisi hisap lebih tinggi dari sumbu tengah pompa.



Gambar 2.13 Instalasi *Suction Head*

2.11.3 Head Dinamis

Head dinamis adalah *head* yang terdiri dari *velocity head* dan *head loss*. Untuk penjelasannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$\sum H_{din} = \left(\frac{\overline{V}_d^{\,2} - \overline{V}_s^{\,2}}{2.g} \right) + \sum H_{LT} \qquad (2.17)$$

Dimana :

$\sum H_{din}$ = *Head* dinamis (m)

$\sum H_{LT}$ = kerugian tinggi tekan (m)

$\overline{V}_d$ = kecepatan aliran *discharge* (m/s)

$\overline{V}_s$ = kecepatan aliran *suction* (m/s)

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

➢ Head dinamis terdiri dari :

1) ***Velocity Head***

adalah *head* yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan yang keluar dari *suction reservoar* dan masuk ke dalam *discharge reservoar*. Velocity *head* ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_v = \frac{\overline{V}_d^{\,2} - \overline{V}_s^{\,2}}{2.g} \qquad (2.18)$$

Dimana :

$\overline{V}_d$ = kecepatan aliran *discharge* (m/s)

$\overline{V}_s$ = kecepatan aliran *suction* (m/s)

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

2) **Total Kerugian Tinggi-Tekan *(Head Loss Total)***

Head Loss Total (total kerugian tinggi tekan) merupakan jumlah suatu kerugian yang dialami aliran *fluida* selama bersirkulasi dimana kerugian itu tergantung pada geometri penampang saluran dan parameter-parameter *fluida* serta aliran itu sendiri. Kerugian tinggi tekan *(Head loss)* dapat dibedakan atas, kerugian dalam pipa (*major losses*) dan kerugian pada perubahan geometri (*minor losses*). Untuk persamaan total kerugian tinggi tekan adalah :

$$\sum H_{LT} = H_l + \sum H_{lm} \qquad (2.19)$$

1

$$\sum H_{LT} = \left(f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \right) + \left(K \cdot \frac{V^2}{2g} \right)$$

2.a) ***Head Loss Mayor***

Kerugian aliran *fluida* yang disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara *fluida* dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran *fluida* (kerugian kecil).

Kerugian *head* akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari rumus berikut :

Persamaan Darcy – Weisbach

$$H_l = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \qquad (2.20)$$

Dimana :

H_l = kerugian *head* karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

D = diameter pipa (m)

$\bar{V}$ = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

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

Untuk aliran *laminar,* faktor gesekan dapat diyatakan dengan rumus :

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \qquad (2.21)$$

Untuk aliran *turbulen*, faktor gesekan dibedakan menjadi :

a. Untuk pipa halus, hubungan antara bilangan *reynold* dengan faktor gesekan :

Blasius :

$$f = \frac{0{,}316}{\text{Re}^{0,25}} \qquad (2.22)$$

untuk $3000 \leq \text{Re} \leq 100000$

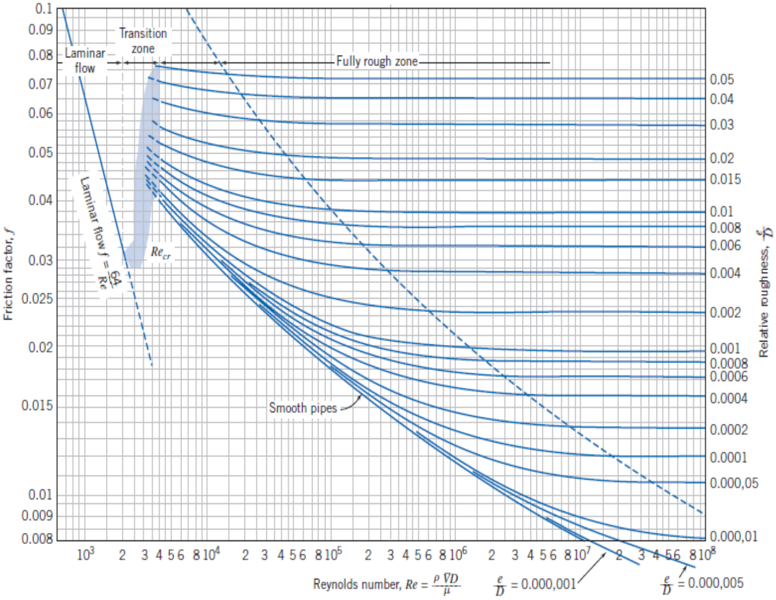
b. Untuk pipa kasar dan halus , hubungan antara bilangan *reynold* dengan faktor gesekan :

***Colebbrook-White*:**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log\left(\frac{e/D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{\text{Re}.\sqrt{f}}\right) \qquad (2.23)$$

Untuk menggunakan persamaan ini dilakukan dengan menggunakan iterasi yang membuat harga f dapat lebih akurat. Adapun cara lain untuk mempermudah mencari harga *friction factor* (*f*), dapat menggunakan *moody diagram* dengan fungsi *reynold number* (Re) dan e/d terhadap *friction factor* (f).

Persamaan *Colebrook-White* berlaku untuk seluruh kisaran aliran *non laminar* dalam *diagram moody.*



Gambar 2.14 Moody Diagram

(Sumber : Fox and McDonald, Introduction to Fluid Mechanics)

2.b) ***Head Loss Minor***

Selain kerugian *head loss mayor*, juga terdapat kerugian yang disebabkan karena kelengkungan pipa seperti belokan, siku, sambungan, katup dan sebagainya yang disebut dengan kerugian kecil *(Head Loss Minor).* Besarnya kerugian minor, yaitu :

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (2.24)$$

Dimana :

$\overline{V}$ = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

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

K = koefisien kerugian (minor losses) pipa

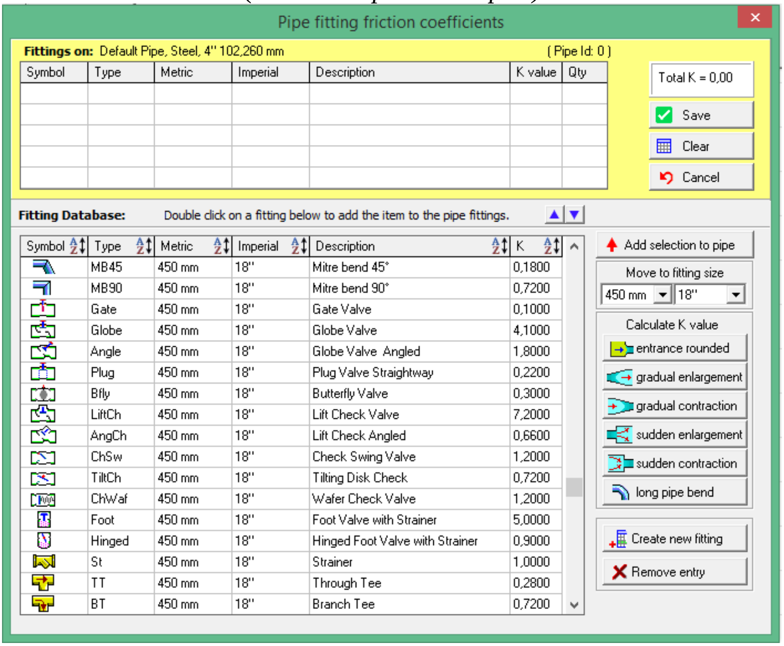
Dimana harga K dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$K = f.\frac{L_e}{D} \qquad (2.25)$$

Dimana harga K dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\sum H_{lm} = K \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (2.24)$$

Tabel 2.1 Nilai koefisien (k) berbagai jenis fitting
(*Sumber: Pipe Flow expert)*



Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K
	MB45	450 mm	18"	Mitre bend 45°	0,1800
	MB90	450 mm	18"	Mitre bend 90°	0,7200
	Gate	450 mm	18"	Gate Valve	0,1000
	Globe	450 mm	18"	Globe Valve	4,1000
	Angle	450 mm	18"	Globe Valve Angled	1,8000
	Plug	450 mm	18"	Plug Valve Straightway	0,2200
	Bfly	450 mm	18"	Butterfly Valve	0,3000
	LiftCh	450 mm	18"	Lift Check Valve	7,2000
	AngCh	450 mm	18"	Lift Check Angled	0,6600
	ChSw	450 mm	18"	Check Swing Valve	1,2000
	TiltCh	450 mm	18"	Tilting Disk Check	0,7200
	ChWaf	450 mm	18"	Wafer Check Valve	1,2000
	Foot	450 mm	18"	Foot Valve with Strainer	5,0000
	Hinged	450 mm	18"	Hinged Foot Valve with Strainer	0,9000
	St	450 mm	18"	Strainer	1,0000
	TT	450 mm	18"	Through Tee	0,2800
	BT	450 mm	18"	Branch Tee	0,7200

2.12 Net Positive Suction *Head* (NPSH)

Net Positive Suction *Head* (NPSH) merupakan ukuran dari *head* suction terendah yang memungkinkan bagi cairan untuk tidak mengalami kavitasi. NPSH ini dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap terjadinya kavitasi.

2.12.1 Net Positive Suction *Head* Available ($NPSH_A$)

$NPSH_A$ merupakan NPSH yang tersedia pada instalasi pompa yang besarnya dapat ditulis :

$$NPSH_A = \frac{Pa}{\gamma} - \frac{Pv}{\gamma} - h_s - \sum H_l s$$

dimana :

$NPSH_A$ = yang tersedia pada instalasi (m kolom minyak)

$\frac{Pa}{\gamma}$ = tekanan absolut diatas permukaan cairan pada suction reservoar (m kolom minyak)

$\frac{Pv}{\gamma}$ = tekanan uap cairan yang dipompa pada temperature pemompaan (m kolom minyak)

h_s = *Head* hisap statis (m kolom minyak)

$\sum H_l\, s$ = *Head* loss pada pipa hisap (m kolom minyak)

2.12.2 *Net Positive Suction Head Required* ($NPSH_R$)

$NPSH_R$ adalah NPSH yang diisyaratkan pompa yang bersangkutan supaya bisa bekerja. $NPSH_R$ ini ditentukan oleh pabrik pembuat pompa tersebut yang besarnya tergantung dari banyak faktor, antara lain : desain impellernya, kecepatan putaran, sifat fluida yang dipompa. Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, maka harus dipenuhi persyaratan sebagai berikut :

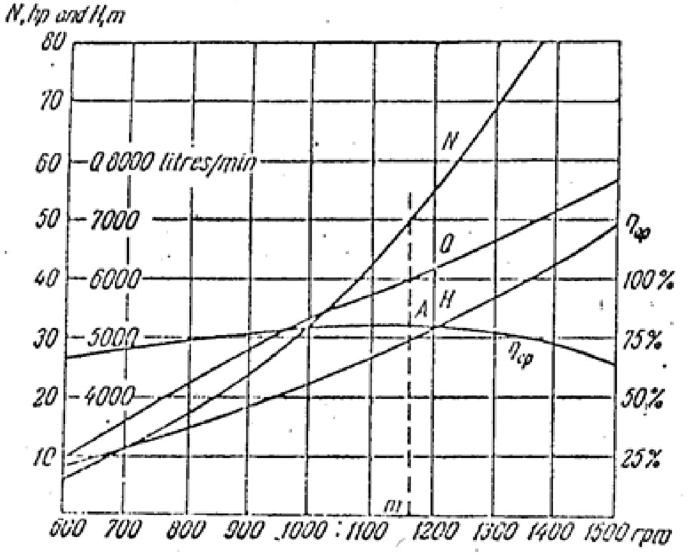
$$NPSH_A > NPSH_R$$

2.13 Kurva Karakteristik Pompa

Karakteristik pompa adalah kurva yang menghubungkan suatu performa dengan performa yang lainnya saat beroperasi. Performa pompa yaitu *head (H),* kapasitas(Q), daya pompa dan efisiensi (η). Secara umum karakteristik pompa sentrifugal terbagi menjadi 3, yaitu :

2.13.1 Karakteristik Utama

Merupakan kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan *head* dan kapasitas dengan perubahan putaran-putaran pompa yang dapat menyebabkan perubahan kecepatan impeller. Di bawah ini adalah grafik karakteristik utama :

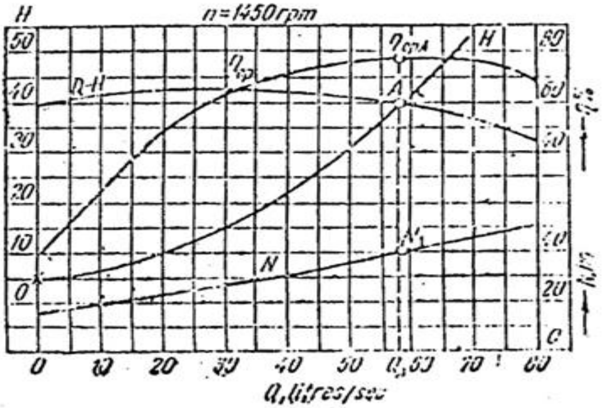


Gambar 2.15 Karakteristik Utama

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan,Cetakan pertama)

2.13.2 Karakteristik Kerja

Adalah kurva karakteristik yang diplot berdasarkan kecepatan impeler (putaran pompa) yang konstan. Kurva ini divariasikan harga kapasitasnya dengan membuka/menutup *valve-valve* yang ada agar bisa mendapatkan titik kerja yang optimal dengan kurva kapasitas (Q) fungsi *head*.

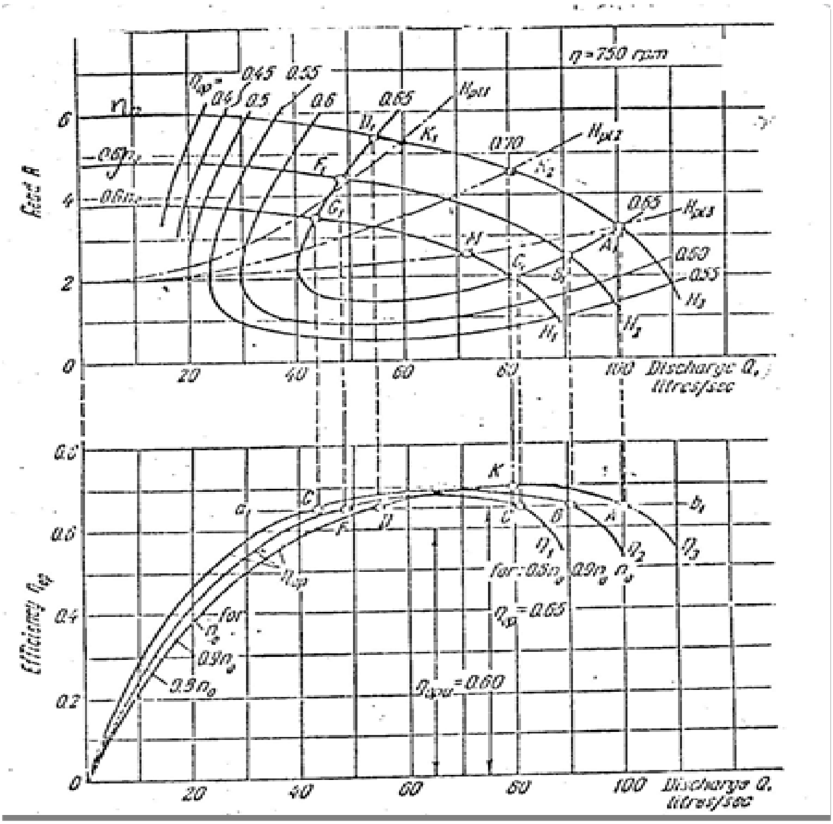


Gambar 2.16 Karakteristik Kerja

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan,Cetakan pertama)

2.13.3 Karakteristik *Universal*

Adalah kurva yang merupakan gabungan dari karakteristik utama dan karakteristik kerja. Kurva ini digunakan untuk menentukan parameter-parameter pompa untuk berbagai kondisi operasi.

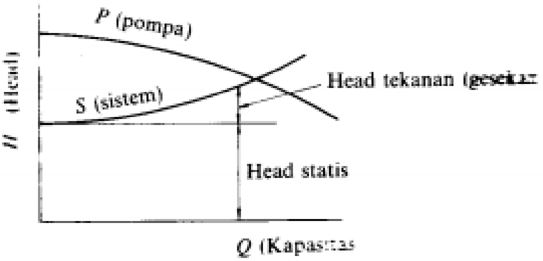


Gambar 2.17 Karakteristik Universal

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan,Cetakan pertama)

2.13.4 Titik Operasi Pompa

Titik operasi pompa adalah titik dimana menunjukkan kapasitas aliran pada *head* tertentu yang bekerja dengan performa yang baik. Titik operasi pompa ini ditentukan oleh perpotongan kurva sistem dengan kurva pompa yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.18 .



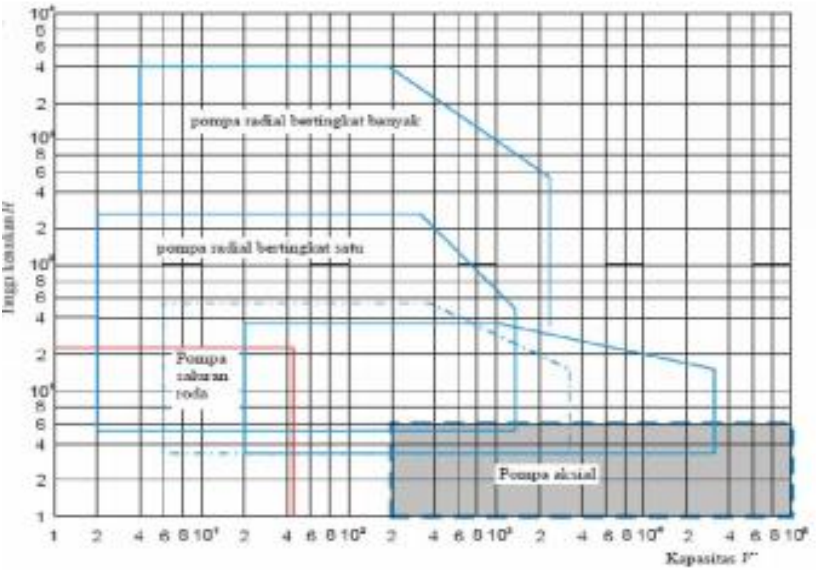
Gambar 2.18 Titik operasi pompa

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan,Cetakan pertama)

Titik operasional pompa harus sedapat mungkin dijaga agar selalu berada pada area efisiensi pompa tertinggi. Terutama bila pengoperasian pompa digunakan pada sistem yang memerlukan variasi *head* dan besar aliran fluida yang akan menggeser kurva sistem.

2.14 Pemilihan Pompa Berdasarkan Perhitungan Head dan Kapasitas

Dalam beberapa hal, untuk kapasitas dan *head* effektif pompa yang diperlukan, terdapat lebih dari satu jenis pompa yang dapat dipilih. Untuk itu dapat dilihat diagram yang ada di bawah ini :



Gambar 2.19 Daerah Kerja Beberapa Jenis Konstruksi Pompa
(*Sumber : ‘’Turbin, Pompa dan Kompresor’’ Ir.Dakso Sriyono dan Prof.Ing. Fritz Dietzel, Erlangga, Jakarta.1993, hal. 282*)

Untuk menentukan pompa sentrifugal yang tepat yang digunakan pada sebuah sistem, maka kurva karakteristik pompa dan kurva karakteristik sistem digabungkan. Titik pertemuan antara kedua kurva tersebut merupakan titik operasional. Titik operasional paling optimal adalah jika titik pertemuan antara kedua kurva tersebut berada pada area *BEP (Best Efficiency Point).*

2.15 Daya Penggerak

2.15.1 Daya Pompa / Daya Fluida (WHP)

Daya fluida adalah energi yang diterima oleh fluida dari pompa dengan menghasilkan perubahan energi tekanan dan nantinya akan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$WHP = \gamma \times Q_{act} \times H$$

Dimana :

WHP = Daya Pompa (watt)

γ = Berat spesifik fluida (N/m^3)

Q_{act} = Kapasitas Aktual Pompa (m^3/s)

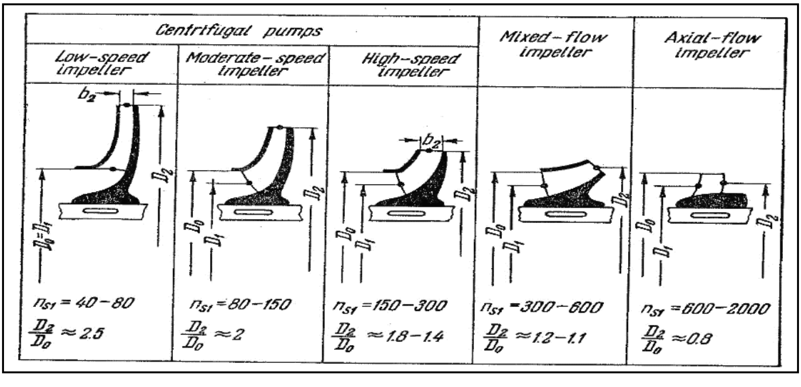
H = *Head* pompa (m)

2.15.2 Penentuan Putaran Spesifik dan Bentuk Impeller

Dengan putaran pompa yang sudah diketahui dari penggerak motornya, sehingga dapat ditentukan putaran spesifiknya dengan menggunakan persamaan : (*Ref. Khetagurov, Marine Auxiliary Machinery and System)*

$$n_s = n \times \sqrt{\frac{\rho_{fluid}}{75}} \times \frac{n\sqrt{Q}}{H_{eff}{}^{3/4}}$$

Dengan mengetahui putaran spesifik ini, dapat diketahui jenis pompa dan bentuk impeller seperti pada tabel di bawah ini :



Gambar 2.20 Putaran spesifik dan bentuk impeller

2.15.3 Daya Poros (P_{shaft})

Daya poros adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_{shaft} = \frac{WHP}{\eta_p}$$

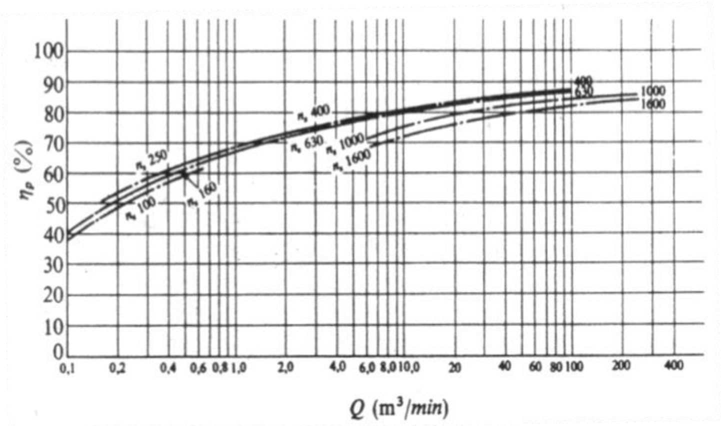
Dimana :

P_{shaft} = Daya Poros (Watt)

WHP = Daya Pompa / Daya Air (Watt)

η_p = Efisiensi Pompa (desimal)

Harga-harga standar efisiensi pompa (η_p) diberikan dalam gambar di bawah ini. Efisiensi pompa untuk pompa-pompa jenis khusus harus diperoleh dari pabrik pembuatnya.



Gambar 2.21 Efisiensi Standar Pompa

(Sumber : Sularso Tahara Haruo, Pompa dan Kompressor Pemilihan Pemakaian dan Pemeliharaan)

2.15.4 Daya Nominal Penggerak Mula

Daya nominal dari penggerak mula yang dipakai untuk menggerakkan pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (*Ref.Sularso,HT.Pompa dan Kompresor)*

$$P_m = \frac{P(1+\alpha)}{\eta_t}$$

Dimana :

P_m : Daya Nominal Penggerak Mula (KW)

α : Faktor Cadangan (KW)

η_t : Efisiensi Transmisi

Faktor cadangan dan efisiensi transmisi dapat dicari dengan melihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Faktor Cadangan

Jenis Penggerak Mula	α
Motor Induksi	0,1-0,2
Motor Bakar Kecil	0,15-0,25
Motor Bakar Besar	0,1-0,2

Tabel 2.3 Efisiensi Transmisi

Jenis Transmisi		η_t
Sabuk Rata		0,9-0,93
Sabuk – V		0,95
Roda Gigi	Roda gigi lurus satu tingkat	0,92-0,95
	Roda gigi miring satu tingkat	0,95-0,98
	Roda gigi kerucut satu tingkat	0,92-0,96
	Roda gigi planiter satu tingkat	0,95-0,98
Kopling Hidrolik		0,95-0,97

2.16 Sistem Perpipaan

Pipa merupakan saluran fluida yang menghubungkan suatu tempat ke tempat yang lain. Pada setiap instalasi pemipaan, pipa mempunyai fungsi dan sistem yang berlainan dan berkaitan langsung dengan sifat-sifat fisik dari fluida yang mengalir seperti tekanan, temperatur dan juga kecepatan aliran. Oleh karena itu,

material yang dipakai bermacam-macam sesuai dengan karakteristiknya.

2.16.1 Material Pipa

Material pipa yang digunakan dalam suatu perencanaan sangat menentukan panjang pendeknya umur pemakaian pipa tersebut. Beberapa macam pipa yang dipakai adalah sebagai berikut :

a. Stainless Steel Pipe

Jenis pipa stainless steel sangat luas penggunaannya. Hal ini disebabkan material ini mempunyai sifat ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama chrom) yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Salah satu penggunaan stainless steel terdapat pada penggunaan pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air bersih.

b. Cast Iron Pipe

Jenis pipa ini dipakai sebagai pipa air, pipa uap dan pipa gas dengan tekanan dibawah 250 psi dan temperatur tidak melebihi 450^{o} C. Sifat mekanis pipa ini kuat tetapi rapuh pada temperatur rendah dan memiliki ketahanan terhadap korosi.

c. Carbon Steel Pipe

Jenis pipa ini dipakai sebagai pipa air dan mampu bertahan sampai temperatur 850^{o} C. Relatif lebih ringan, kuat dan dapat disambung dengan pengelasan.

d. Alloy Steel Pipe

Jenis pipa ini dipakai dalam industri karena relatif lebih ringan, kuat dan dapat dilas.Akan tetapi kurang tahan terhadap korosi serta biasanya dapat dibuat tanpa sambungan.

e. HDPE (High Density Polyethylene)

Jenis pipa ini dalam dunia industri biasanya dipakai untuk memompakan bahan kimia, karena pipa HDPE memiliki kekuatan tensil dan gaya antar molekul yang tinggi. Pipa HDPE juga lebih keras dan bisa bertahan pada temperatur tinggi (80°C).

Dalam analisa dan keadaan dilapangan, instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (*H_2SiF_6)* atau 30-P-2345 pada Unit Produksi Phosporic Acid Pabrik III di PT. Petrokimia Gresik menggunakan bahan *HDPE SDR 11 NPS 4 inch* karena fluidanya merupakan *Asam Fluosiliksat (H_2SiF_6)* yang mempunyai temperatur kerja 53^{o}C.

2.16.2 Kode dan Standar Pipa

Kode dan standar merupakan suatu acuan teknis dalam perencanaan yang diterbitkan oleh suatu instuisi / lembaga internasional dan digunakan secara internasional pula.

Untuk sistem perpipaan, kode dan standar Internasional yang digunakan antara lain adalah :

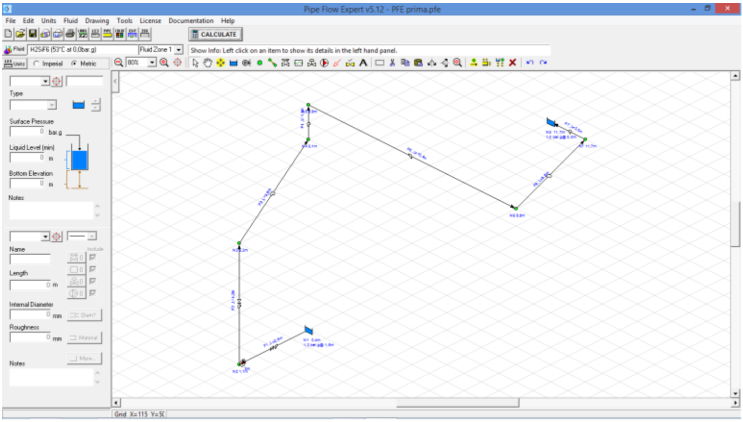
- ANSI (American National Standard Institution)
- API (American Petroleum Institution)
- ASME (American Society of Mechanical Engineering)
- ASTM (American Society for Testing and Material) JIS (Japanesse Industrial Standard)
- MSS (Manufacturers Standardization Society)
- JIS (Japanese Industrial Standard)

  Untuk kode dan standar yang nasional adalah:
- SNI (Standar Nasional Indonesia)

2.17 *Software Pipe Flow Expert*

Pipe Flow Expert merupakan program perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk desain perpipaan dan pemodelan sistem pipa. *Software* ini dapat digunakan untuk menghitung aliran *fluida* dalam jaringan pipa terbuka maupun tertutup dengan suatu kapasitas *reservoar* ganda, beberapa pompa yang dihubungkan secara seri dan paralel serta beberapa ukuran dan *fitting* suatu pipa. *Pipe flow expert* ini akan menghitung laju aliran di setiap pipa dan

akan menghitung penurunan tekanan pipa seluruh sistem. Pada gambar 2.22 menunjukkan penampang salah satu instalasi pada *software pipe flow expert.*



Gambar 2.22 Penampang pipa software pipe flow expert

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI

Adapun data tugas akhir ini di laksanakan pada Unit Produksi Phosporic Acid Pabrik III di PT. Petrokimia Gresik. Untuk mendapatkan pengetahuan serta pemahaman yang lebih jelas di lapangan tentang instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* yang digunakan untuk menyalurkan *Asam Fluosilikat* dari tangki *Agitator (*TK-2345*)* menuju ke tangki *filter* (FIL 2341) maka dilakukan studi literatur dan pengamatan langsung.

3.1 Data-Data Hasil *Survey*

Setelah dilakukan *survey* lapangan di Pabrik III bagian Phosporic Acid PT. Petrokimia Gresik mengenai instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump*. Proses pengambilan data pada instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* dilakukan dengan menggunakan peralatan dan alat ukur yang tersedia maupun peralatan sendiriyang nantinya digunakan untuk proses analisa dan perhitungan lebih lanjut. Adapun data-data yang diperoleh sebagai berikut :

3.1.1 Data Pompa

Merk	: *Warman Pump*
Type	: 4-3 SCB EO R/L 4VOR V
Jenis Pompa	: *Centrifugal Pump*
Kapasitas	: 18,33 m^3/h
Daya Motor	: 5,5 kW

3.1.2 Data Fluida

Fluida kerja`	: *Asam Fluosilikat*
Temperatur kerja	: 53^{o}C
Spesific Gravity (SG)	: 1,17
Density (ρ)	: 1170 kg/m^3
Viscositas absolut (μ)	: 1,1 cP
Vapor pressure(P_v)	: 100 kPa

3.1.3 Data Pipa

Diameter pipa pada kondisi di lapangan:

- Diameter pipa *suction* : 4 inch
- Diameter pipa *discharge* : 4 inch

Panjang pipa pada kondisi di lapangan:

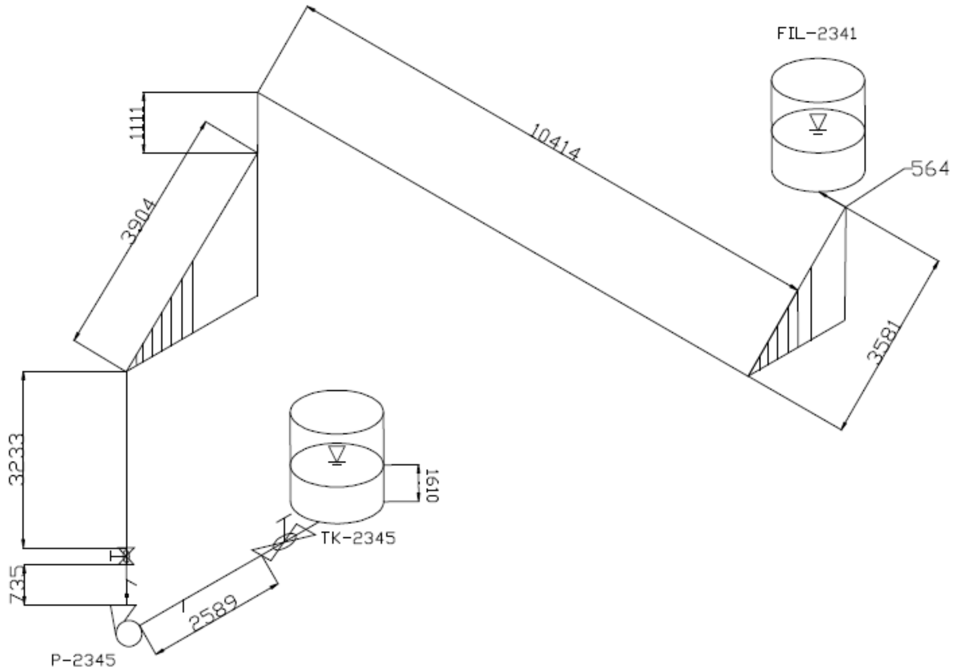
- Panjang pipa *suction* : 2,589 m
- Panjang pipa *discharge* : 23,497 m
- Bahan pipa kondisi di lapangan: *HDPE SDR 11 NPS 4 Inch pada suction dan discharge*

Adapun fitting pada instalasi pompa P-2345 (*H_2SiF_6 Pump)* dan nilai hambatan berdasarkan *pipe flow expert* ditunjukkan pada tabel 3.1:

Tabel 3.1*Fitting* dan nilai K pada pipa kondisi eksisting

Nama *Fitting*	NPS (inch)	K	Jumlah
Trough Tee	4 x 1,5”	0,42	1
Globe Valve	4”	5,8	1
Trough Tee	4 x 2”	0,38	1
Elbow 45^o	4”	0,27	2
Elbow 90^o	4”	0,95	3
Pipe Entry Projecting	4”	0,78	1
Pipe Exit to Container	4”	1	1

3.1.4 Data Eksisting *Asam Fluosilikat* (*H_2SiF_6*) *Pump Pipeline*



Gambar 3.1 Skema *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *Pump Pipeline*

Keterangan:

Panjang pipa *suction*	: 2,589 m
Diameter pipa *suction*	: 4 inch
Panjang pipa *Discharge*	: 23,497 m
Diameter pipa *Discharge*	: 4 inch
Tekanan outlet *suction reservoar*	: 1 atm
Tekanan Inlet *Discharge Reservoar*	: 1 atm

Adapun langkah dan prosedur penyusunan tugas akhir ini secara berurutan dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.2 Studi Literatur

a. Penentuan tema awal Tugas Akhir mengenai "Perencanaan Ulang Instalasi Pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) pada Pabrik III Unit Produksi Phosporic Acid PT. Petrokimia Gresik".
b. Pengajuan tema dan permohonan persetujuan kepada dosen pembimbing Tugas Akhir.
c. Memenuhi prosedur pengambilan data yang telah di tetapkan oleh perusahaan.

3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan berdasarkan pada data-data yang diperlukan dalam analisa perencanaan instalasi. Kegiatan diatas meliputi :

a. Studi Literatur

   Dalam studi literatur ini dipelajari dari buku-buku yang menjadi referensi dalam perencanaan instalasi pompa, baik yang ada di perusahaan ataupun literatur dari mata kuliah yang berhubungan dengan tujuan pengambilan Tugas Akhir ini.

b. Studi Lapangan

   Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi instalasi serta jenis peralatan yang dipergunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah yang dapat memberikan gambaran secara jelas data-data yang kita perlukan untuk melakukan analisa perhitungan.

3.4 Menentukan Batas Kecepatan Fluida

Untuk kecepatan aliran yang diijinkan pada pompa sentrifugal dengan fluida kerja *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

(Sumber: *System Manual Brian Silowash 2010 McGraw-Hill.)*

Tabel 3.2 *Tabel Recommended Velocities of Fluids in Piplines*

Pump Type	*Application*	*Range*	
		Low (m/sec)	*High (m/sec)*
Centrifugal Pump	Suction Lines	0,9	1,2
	Light Viscosity	0,9	1,8

Untuk jenis fluida *Asam Fluosilikat.* Jadi, kecepatan aliran yang diijinkan untuk *discharge* maupun *suction* pompa seperti yang tertera pada tabel.

3.5 Perencanaan Gambar

Setelah dilakukan pemilihan pompa dan penambahan *fitting,* maka proses selanjutnya adalah membuat rancangan gambar yang baru pada instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (*H_2SiF_6)* Pabrik III Unit *Phosporic Acid* PT.Petrokimia Gresik. Untuk lebih jelasnya, gambar perencanaan yang baru pada tugas akhir ini dicantumkan pada lampiran.

3.6 Perhitungan

Dalam menyelesaikan pengerjaan laporan tugas akhirini,dilakukan perhitungan-perhitungan diantaranya perhitungan kapasitas (Q), kecepatan aliran (*V*) pada masing-masing instalasi pipa, head instalasi pompa (*Headloss mayor (H_l)* dan *Headloss minor (H_{lm}), Net Positive Suction Head Available* ($NPSH_A$), putaran spesifik pompa (n_s) serta daya pompa yang dibutuhkan dengan menggunakan data yang diperoleh dari perusahaan. Perhitungan pada tugas akhir ini dilakukan secara manual dan dengan *software Pipe Flow Expert.*

3.7 Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa dilakukan setelah mendapatkan hasil perhitungan kapasitas (Q), kecepatan aliran (*V*), *head* effektif instalasi (H_{eff}), daya pompa dan efisiensi (η).

3.8 Kesimpulan

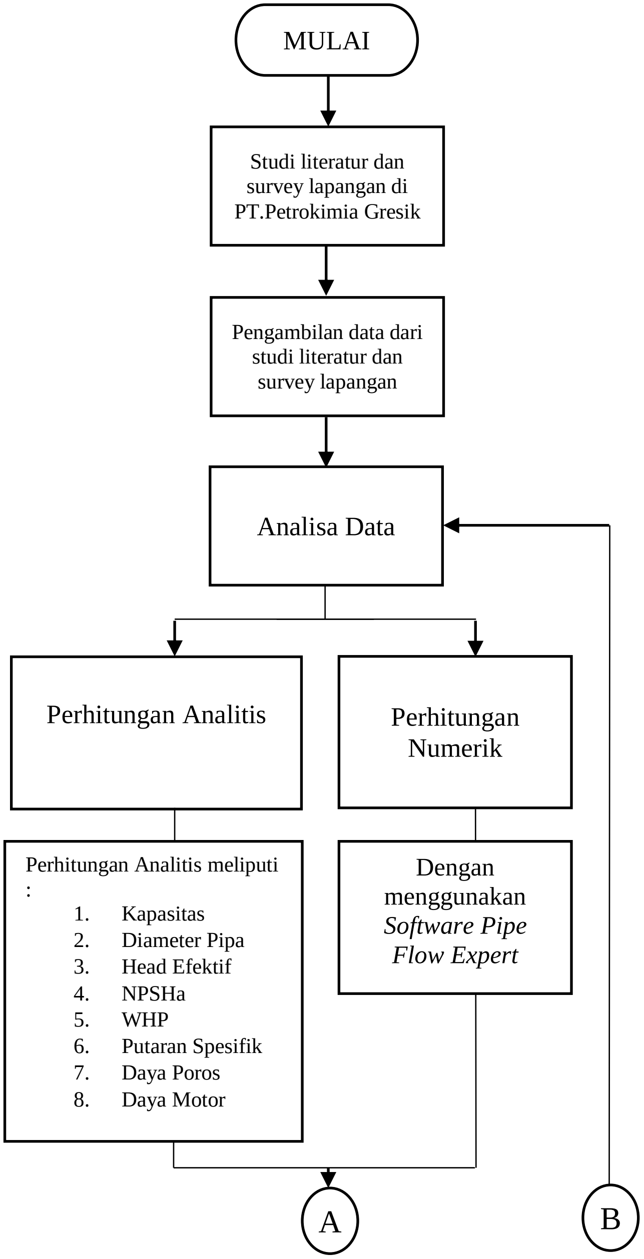
Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari perhitungan.

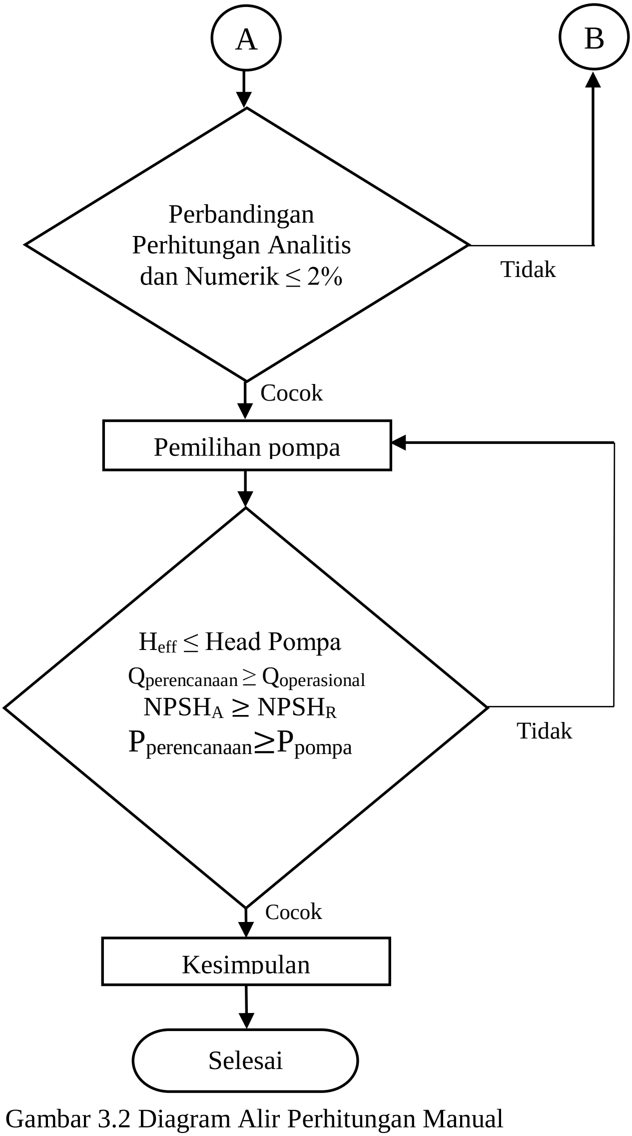
Catatan : data-data lain yang tidak diketahui dan berhubungan dengan analisa perhitungan instalasi pompa dapat dicaripada tabel, lampiran-lampiran, dan buku referensi yang mendukung.

3.9 Urutan Pengerjaan Menggunakan Flow Chart

3.9.1 Diagram Alir Perhitungan Analitis

Adapun langkah-langkah penulisan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut :

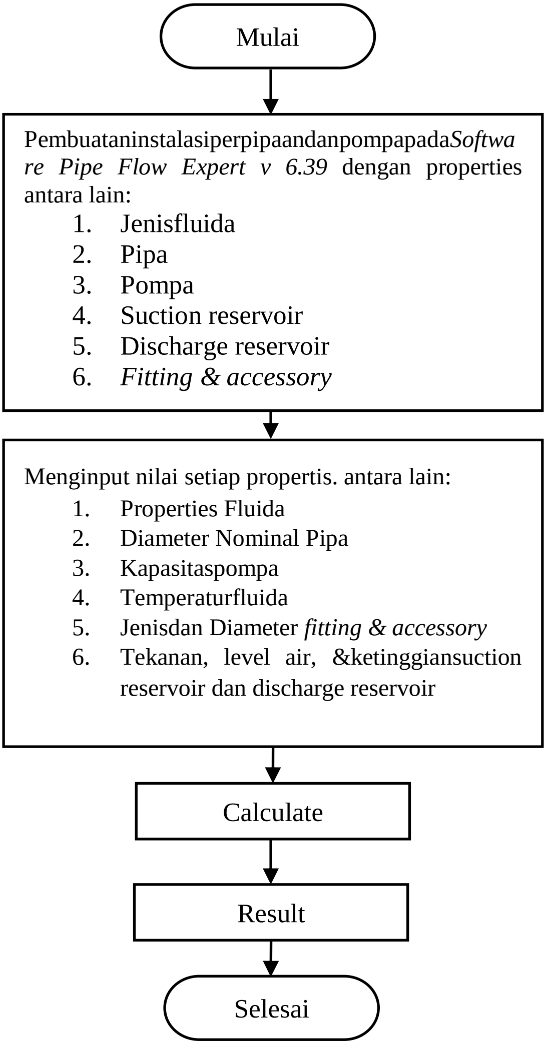

MULAI
Studi literatur dan survey lapangan di PT.Petrokimia Gresik
Pengambilan data dari studi literatur dan survey lapangan
Analisa Data
Perhitungan Analitis
Perhitungan Numerik
Perhitungan Analitis meliputi :
1. Kapasitas
2. Diameter Pipa
3. Head Efektif
4. NPSHa
5. WHP
6. Putaran Spesifik
7. Daya Poros
8. Daya Motor
Dengan menggunakan *Software Pipe Flow Expert*
A
B



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan Manual

3.9.2. Diagram Alir Perhitungan Numerik

Adapun langkah-langkah perhitungan numeric dengan *software pipe flow expert* dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Diagram Alir Pemrograman *Pipe Flow Expert*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
PERHITUNGAN

Pada bab berikut ini akan dijelaskan perhitungan dan perencanaaan ulang dalam pembahasan mengenai sistem perpipaan instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) atau 30-P-2345 pada unit produksi *phosphoric acid* di pabrik III PT. Petrokimia Gresik.

4.1 Pengertian Umum

Sistem perpipaan pada instalasi ini berfungsi untuk memompakan fluida *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) dari H_2SiF_6 *Tank* (TK-2345) ke *filter tank (FIL 2341).*

4.2 Perencanaan sistem Distribusi *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6)

4.2.1 Kebutuhan *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6)

Untuk memperkirakan besarnya kebutuhan *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) pada Pabrik III Unit Produksi Phosphoric Acid, PT. Petrokimia Gresik, perhitungan kapasitas pompa ini didasarkan pada kapasitas pengoperasian satu pompa sentrifugal dan dengan satu pompa lain (stand by), harga kapasitas operasi pompa yang terdapat pada P&ID setelah dikalikan *safety factor* 25 % sebesar 18,33 m^3/jam ketika pompa bekerja.

.

4.2.2 Perhitungan sistem Distribusi *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) sesuai kondisi di Lapangan

Perhitungan ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan Head Efefktif Instalasi Kondisi Eksisting dimana dari perhitungan tersebut akan dilakuan pemilihan pompa yang sesuai dengan instalasi tersebut.

4.2.2.1 Pengecekan diameter Instalasi Perpipaan

Dalam pengecekan diameter pipa, perlu diperhatikan akan kecepatan aliran di dalam pipa. Pengecekan meliputi diameter pipa suction dan diameter pipa discharge. Untuk kecepatan aliran yang diijinkan pada pompa sentrifugal dengan fluida kerja *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) ditunjukkan pada table

dibawah ini berdasarkan referensi dari buku Piping *System Manual, Brian Silowash 2010 McGraw-Hill.*

Tabel 4.1 *Tabel Recommended Velocities of Fluids in Pipelines*

Pump Type	Application	Range	
		Low (m/sec)	High (m/sec)
Centrifugal Pump	Suction Lines	0,9	1,2
	Light Viscosity	0,9	1,8

Untuk jenis fluida *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) dengan SG sebesar 1,17 dan tergolong dalam jenis fluida *Light Viscosity.*

4.2.2.1.1 Perhitungan kecepatan Aliran pada pipa Suction

Diketahui :

Kapasitas operasi setelah dikalikan *safety factor* 10% dari H_2SiF_6 *Tank* ke *Discharge Reservoar* sebesar 18,33 m^3/jam

Bahan : *NPS 4* inch *HDPE SDR* 11

$$Q = 18{,}33 \ \frac{m^3}{1 jam} \ x \ \frac{1 jam}{3600\, s} \ = 0{,}00509 \ \frac{m^3}{s}$$

D_{inside}= 0,092 m

Sehingga untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa menggunakan rumus :

$$V = \frac{4\ Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4 \,.\, 0{,}00509 \ \frac{m^3}{s}}{\pi\ (0{,}092 m)^2 \frac{m}{s}} = 0{,}76 \ \frac{m}{s}$$

Setelah ditinjau atas dasar kecepatan aliran, kecepatan yang diijinkan untuk pipa *suction* yaitu minimal 0,9 m/s dan untuk maksimumnya 1,2 m/s (*recomemended velocity: suction lines*), maka pipa *suction* pada kondisi eksisting kurang sesuai. Agar sesuai dengan kecepatan yang diijinkan, maka dilakukan pemilihan diameter yang sesuai dengan memperhatikan kecepatan yang diijinkan yaitu 0,9 m/s. Perhitungan dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

Dimana : Q = 0,00509 $\frac{m^3}{s}$ dan V = 0,9 $\frac{m}{s}$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \bar{V}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4\ x\ 0{,}00509\ \frac{m^3}{s}}{\pi\ x\ 0{,}9\frac{m}{s}}}$$

D = 0,084 m

Bila dipilih pipa dengan diameter nominal (NPS) = 80 mm atau 3 inch dengan D_{inside} = 0,07178 m maka pipa *suction* kurang memenuhi kebutuhan dilapangan sehingga harus dipilih pipa dengan ukuran yang lebih sesuai. Dengan menyesuaikan *properties* pipa yang ada di pasaran dan sesuai *Piping Pipeline Engineering*, maka dipilih pipa dengan diameter nominal (NPS) = 100 mm atau 4 inch jenis *HDPE SDR 11* dan D_{inside} = 0,092 m.

Setelah dilakukan pemilihan pipa, maka kecepatan aliran di dalam pipa suction dengan diameter yang baru adalah

$$V = \frac{4\,Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4\,.\,0{,}00509\ \frac{m^3}{s}}{\pi\ (0{,}084m)^2\ \frac{m}{s}} = 0{,}9\ \frac{m}{s}$$

Jadi, kecepatan aliran di dalam pipa suction dengan diameter yang baru NPS 100 mm atau 4 inch *sdr 11* adalah 0,9 m/s memenuhi *range* kecepatan yang diijinkan antara 0,9 m/s sampai 1,2 m/s.

4.2.2.1.2 Perhitungan kecepatan Aliran pada pipa Discharge

Diketahui :

Kapasitas operasi setelah dikalikan *safety factor* 10% dari *H_2SiF_6 Tank* ke *Discharge Reservoar* sebesar 18,33 m^3/jam

Bahan : *NPS 4* inch *HDPE SDR* 11

$$Q = 18{,}33\ \frac{m^3}{1jam}\ x\ \frac{1jam}{3600\,s} = 0{,}00509\ \frac{m^3}{s}$$

D_{inside}= 0,092 m

Sehingga untuk menghitung kecepatan aliran pada pipa menggunakan rumus :

$$V = \frac{4\,Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4\,.\,0{,}00509\ \frac{m^3}{s}}{\pi\ (0{,}092m)^2\ \frac{m}{s}} = 0{,}76\ \frac{m}{s}$$

Setelah ditinjau atas dasar kecepatan aliran, kecepatan yang diijinkan untuk pipa *discharge* yaitu minimal 0,9 m/s dan untuk maksimumnya 1,8 m/s (*recomemended velocity: light viscosity*),

maka pipa *discharge* pada kondisi eksisting kurang sesuai. Agar sesuai dengan kecepatan yang diijinkan, maka dilakukan pemilihan diameter yang sesuai dengan memperhatikan kecepatan yang diijinkan yaitu 0,9 m/s. Perhitungan dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

Dimana : Q = 0,00509 $\frac{m^3}{s}$ dan V = 0,9 $\frac{m}{s}$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \bar{V}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4\ x\ 0{,}00509\ \frac{m^3}{s}}{\pi\ x\ 0{,}9 \frac{m}{s}}}$$

D = 0,084 m

Dengan menyesuaikan *properties* pipa yang ada di pasaran dan sesuai *Piping Pipeline Engineering,* maka dipilih pipa dengan jenis *HDPE SDR 11* diameter nominal (NPS) = 100 mm atau 4 inch dan *inside* diameter = 0,092 m.

Setelah dilakukan pemilihan pipa, maka kecepatan aliran di dalam pipa discharge dengan diameter yang baru adalah

$$V = \frac{4\ Q}{\pi D^2}$$

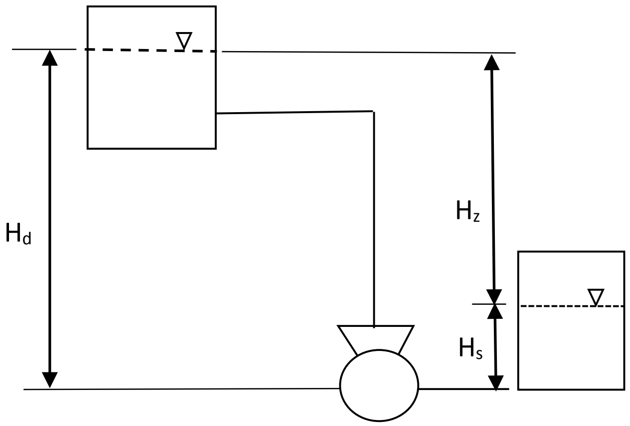
$$V = \frac{4\ .\ 0{,}00509\ \frac{m^3}{s}}{\pi\ (0{,}084m)^2 \frac{m}{s}} = 0{,}9\ \frac{m}{s}$$

Jadi, kecepatan aliran di dalam pipa discharge dengan diameter yang baru NPS 100 mm atau 4 inch *SDR 11* adalah 0,9

m/s memenuhi *range* kecepatan yang diijinkan antara 0,9 m/s sampai 1,8 m/s.

4.2.3 Perhitungan Head Efektif Instalasi

Head effektif instalasi adalah *Head* yang harus diatasi pompa dan seluruh komponen – komponen yang telah di dapat dan diperhitungkan tersebut. Adapun *Head efektif* instalasi meliputi *Head* statis dan *head* dinamis.



Gambar 4.1 Skema *suction head* pompa

4.2.3.1 Perhitungan Head Statis

Untuk menghitung head statis menggunakan persamaan :

$$H_{statis} = \frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma} + H_z$$

Dimana :

$P_{sr} = P_1$ = Tekanan pada sisi *Suction Reservoar* (bar)
$P_{dr} = P_2$ = Tekanan pada sisi *Discharge reservoar* (bar)
H_s =Ketinggian permukaan fluida pada sisi *suction* (m)
H_d =Ketinggian permukaan fluida pada sisi *discharge* (m)
diketahui data –data sebgai berikut :

- H_z = **H_d - Hs**
  = 11,730 m – 1,2 m
  = 10,53 m
- G = 9,81 m/s^2
- SG = 1,17 (*Data Sheet*)
- $\rho_{H_2SiF_6}$ = 1170 kg/m^3

Sehingga,

$$H_{statis} = \left(\frac{P_{dr} - P_{sr}}{\gamma} \right) + H_z$$

$$H_{statis} = \left(\frac{1\,atm - 1\,atm}{\gamma} \right) + 10{,}53 \text{ m}$$

$$H_{statis} = 10{,}53 m$$

4.2.3.2 Perhitungan Head Dinamis

Untuk menghitung *head* Dinamis Menggunakan Rumus :

$$H_{dinamis} = \frac{V_{dr}^2 - V_{sr}^2}{2g} + \sum H_{LT}$$

Dimana:

V_{dr} = Kecepatan pada permukaan discharge reservoar (m/s)
V_{sr} = Kecepatan pada permukaan suction reservoar (m/s)
$\sum H_{LT}$ = Kerugian pada permukaan sepanjang pipa lurus dan adanya aksesoris (m)

4.2.3.3 Perhitungan *Head Loss Total* Instalasi

Head loss instalasi terdiri dari *Headloss Mayor* dan *Headloss Minor*.

4.2.3.3.1 *Headloss Mayor* pada Pipa *Suction*

Besarnya *mayor losses* dapat dicari dengan menggukan persamaan :

$$H_L = f \, x \frac{L}{D} x \frac{\overline{V_s}^2}{2g}$$

Dimana

f = koefisien gesek

L = panjang pipa lurus (m)

D = diameter pipa (m)

$\overline{V}_S$ = kecepatan aliran fluida pada pipa suction (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

diketahui data sebagai berikut :

$L_{Suction}$ = 2,589 m

D_{inside} = 4 inch = 0,092 m

$\overline{V}_S$ = 0,9 m/s

Harga Koefisien gesek ditentukan dari *Reynold Number* (RE)

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot \overline{V} \cdot D}{\mu}$$

Dengan :

Re > 2300 = laminar

4000 > Re > 2300 = transisi

Re > 4000 = turbulen

Berdasarkan data yang didapat dari data sheet pompa harga viscositas absolute pada suhu 53^{o}C = 1,1 cP = 0,0011 kg/ms. Sehingga dapat diperoleh nilai Re nya adalah,

$$\mathrm{Re} = \frac{1170 kg/m^3 \, x 0{,}9 \frac{m}{s} \, x \, 0{,}092 m}{\frac{0{,}0011 kg/ms}{1170 kg/m^3}} = 88085{,}10638 (turbulen)$$

Material pipa dari HDPE Pipe *SDR* 11 dengan kekasaran permukaan ε = 15 x 10^{-7}m diperoleh dari *pipe flow expert.*

Maka *relative roughness,*

$$\frac{\varepsilon}{D_{inside}} = \frac{15 \, x \, 10^{-7} m}{0{,}092 \, m} = 0{,}0000163$$

Dengan mengetahui harga Re dan $\frac{\varepsilon}{D}$ dari *Colebrook equation* maka unuk mendapat harga f menggunakan Persamaan *Colebrook* sebgai berikut:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}}\right)$$

Untuk menyelesaikan persamaan ini dan mengetahui harga f, makan dilakukan perhitungan dan iterasi menggunakan Microsoft Excel seperti berikut :

0,0000163	88085,10638	0,0182	7,332599151	7,412493167	0,079894016
0,0000163	88085,10638	0,0183	7,334930168	7,39221271	0,057282542
0,0000163	88085,10638	0,0184	7,337248352	7,372097808	0,034849455
0,0000163	88085,10638	0,0185	7,339553843	7,352146221	0,012592378
0,0000163	88085,10638	0,0186	7,341846778	7,332355751	-0,009491027
0,0000163	88085,10638	0,0187	7,344127291	7,312724241	-0,03140305
0,0000163	88085,10638	0,0188	7,346395516	7,293249575	-0,053145941

Gambar 4.2 *Iterasi Colebrook pada Ms. Excel pipa suction*

Dengan melakukan iterasi pada program Ms. Exel, maka didapatkan hasil iterasi dengan nilai sebesar f = 0,0185

Sehingga, untuk menghitung *head loss mayor* adalah :

$$H_{L.Suction} = 0{,}0185 \times \frac{2{,}589\,\mathrm{m}}{0{,}092\,\mathrm{m}} \times \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times \left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}02149\mathrm{m}$$

4.2.3.3.2 *Headloss Mayor* pada Pipa *Discharge*

Besarnya *mayor losses* pada pipa *Discharge* dapat dicari dengan menggukan persamaan yang sama seperti pada pipa *Suction* :

$$H_L = f\, x \frac{L}{D} x \frac{\overline{V_s}^2}{2g}$$

Dimana

f = koefisien gesek

L = panjang pipa lurus (m)

D = diameter pipa (m)

$\overline{V}_S$ = kecepatan aliran fluida pada pipa suction (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

diketahui data sebagai berikut :

$L_{Discharge}$ = 23,497 m

D_{inside} = 4 inch = 0,092 m

$\overline{V}_S$ = 0,9 m/s

g = 9,81 m/s^2

Dengan melakukan iterasi pada program Ms. Exel, maka didapatkan hasil iterasi yang sama dengan pipa *suction* yaitu sebesar f = 0,0185

Sehingga, untuk menghitung *head loss mayor* adalah :

$$H_{L.Discharge} = 0{,}0185 \times \frac{23{,}497\,\text{m}}{0{,}092\,\text{m}} \times \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2 \times \left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}195\,\text{m}$$

4.2.3.3.3 HeadLoss Minor pada Pipa Suction

HeadLoss Minor adalah kerugian gesek yang ditimbulkan karena adanya aksesoris disepanjang pipa instalasi. Untuk harga K pada masing-masing aksesoris diperoleh dari tabel *minor losses coefficient pipe flow experts.*

a) Kerugian *head* pada *Globe Valve* ukuran 4 in dengan harga K = 5,8 sebanyak 1 buah, maka :

$$H_{globevalve} = K \cdot \frac{\overline{V}^2}{2g}$$

$$= 5{,}8\ x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}23944m$$

b) Kerugian *head* pada pipa percabangan *Trough Tee* ukuran 4 in ke 1,5 in dengan harga K = 0,42 sebanyak 1 buah, maka :

$$H_{troughtee} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0{,}42x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}01733m$$

c) Kerugian *head* pada *Pipe Entry Projecting* ukuran 4 in dengan harga K = 0,78 sebanyak 1 buah, maka :

$$H_{entry.projecting} = K\ .\frac{\overline{V}^2}{2g}$$

$$= 0{,}78\,x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}0322m$$

Headloss minor total dari Pipa *Suction*

$H_{LM,\ Suction}$ = $H_{Globevalve}$ + $H_{troughtee}$ + $H_{entryprojecting}$

= 0,23944 m + 0,01733 m + 0,0322 m

= 0,2889 m

4.2.3.3.4 HeadLoss Minor pada Pipa Discharge

a) Kerugian *head* pada *Globe valve* ukuran 4 in dengan harga K = 5,8 sebanyak 1 buah, maka :

$$H_{globevalve} = K\ .\frac{V^2}{2g}$$

$$= 5{,}8x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}23944m$$

b) Kerugian *head* pada *Trough Tee* ukuran 4 in ke 2 in dengan harga K= 0,38 sebanyak 1 buah, maka :

$$H_{troughtee} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0{,}38x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}01568m$$

c) Kerugian *head* pada *elbow 45* ukuran 4 in dengan harga K = 0,27 sebanyak 2 buah, maka :

$$H_{elbow45} = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$= 2x0{,}27x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}02229m$$

d) Kerugian *head* pada *elbow 90* ukuran 4 in dengan harga K = 0,45 sebanyak 3 buah, maka :

$$H_{elbow90} = \text{K.} \frac{V^2}{2g}$$

$$= 3x0{,}95\,x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}1176m$$

e) Kerugian *head* pada *Pipe Exit to Container* ukuran 4 in dengan harga K = 1 sebanyak 1 buah, maka :

$$H_{exit.container} = K \cdot \frac{\overline{V^2}}{2g}$$

$$= 1\,x \frac{\left(0{,}9\frac{m}{s}\right)^2}{2.\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} = 0{,}04128m$$

$H_{Lm,\ Discharge}$ = $H_{globevalve}$ + $H_{troughtee}$ + $H_{elbow45}$ + $H_{elbow90}$ + $H_{exitcontainer}$
= 0,23944 m + 0,01568 m + 0,02229 m + 0,1176 m + 0,04128
= 0,4363 m

Setelah melakukan langkah perhitungan *Head Dynamis* dengan menghitung *Head loss mayor* dan *head loss minor* seperti perhitungan diatas, maka hasil perhitungan *Head loss* setiap *suction* akan ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.2 *Perhitungan Head Loss*

Section	H_L (m)	H_{Lm} (m)	H_{LT}(m)
Suction	0,02149	0,2889	0,31039
Discharge	0,195	0,4363	0,6313
Jumlah	0,21649	0,7252	
		$\sum H_{LT}$	**0,94169**

Dengan diketahui data hasil perhitungan berupa *Head statis* dan *head dinamis* maka :

$$H_{dinamis} = \frac{V_{dr}^{\ 2} - V_{sr}^{\ 2}}{2g} + \sum H_{loss}$$

$$= \frac{\left(0\frac{m}{s}\right)^2 - \left(0\frac{m}{s}\right)^2}{2x\left(9{,}81\frac{m}{s^2}\right)} + 0{,}94169m$$

= 0 m + 0,94169 m

= 0,94169 m

4.2.3.4 Head Effektif Instalasi Pompa

Maka *head effektif* instalasi adalah :

$H_{Eff} = H_{statis} + H_{dinamis}$

= 10,53 m + 0,94169 m

= 11,471 m x 1,25(*safety factor)*

= 14,33 m

4.2.4 *Net Positive Suction Head Available (NPSH$_A$)*

NPSH$_A$ merupakan NPSH yang tersedia pada instalasi pompa yang besarnya dapat di tulis :

$$NPSH_A = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - \sum H_l s$$

Perhitungan NPSH$_A$ dianggap benar apabila memenuhi syarat NPSH$_A$> NPSH$_R$. agar tidak terjadi kavitasi dimana :

- P_a = 1 atm (karena *cooling tank* dalam kondisi terbuka)
- P_v = 100 kPa (data sheet)

$$\gamma = \rho . g = 1170 \frac{kg}{m^3} \times 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 11477{,}7 \frac{N}{m^2}$$

h_s = 3,49 m *(dari instalasi pipa)*

$$\sum H_{LT,Suction} = 0{,}31039\ m$$

Apabila instalasi *suction head* pada permukaan zat cair di dalam tangki lebih tinggi dari pada sisi isap pompa, maka h_s (-). Sehingga,

$$NPSH_A = \left(\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma}\right) - (-h_s) - \sum H_1 s$$

$$= \left(\frac{101{,}325\,kpa - 100\,kpa}{11477{,}7\frac{N}{m^3}}\right) - (-3{,}49\,\mathrm{m}) - 0{,}31039\,m$$

= 0,0001154 m + 3,49 – 0,31039 m

= 3,179 m

$NPSH_R$ = 2,5 m (data Sheet)

Jadi perhitungan $NPSH_A$ sudah benar karena memenuhi syarat dimana $NPSH_A > NPSH_R$

4.2.5 Putaran Spesifik Pompa (n_s)

Kecapatan spesifik (n_s) untuksatu stage dari multistage pump dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$n_s = n \times \sqrt{\frac{\rho_{fluida}}{75}} \times \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \qquad \text{(Ref. Khetagurof)}$$

Dimana:

n = 1280rpm (Data Sheet)

Q = 0,00509 m^3/s

H = 14,33 m

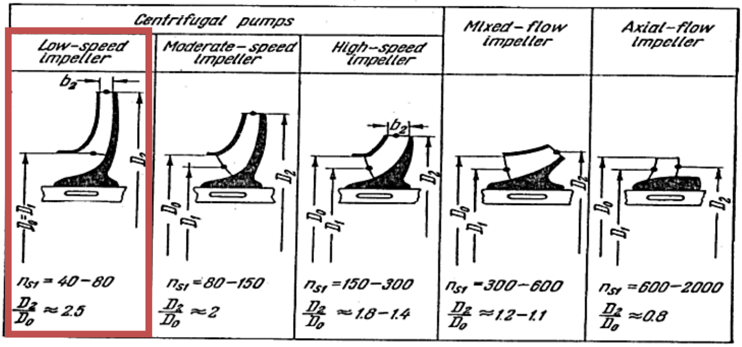
ρ_{fluida} = 1170 kg/m^3

Sehingga kecepatan spesifik (n_s)

$$n_s = 1280\,rpm \times \sqrt{\frac{1170\frac{kg}{m^3}}{75}} \times \frac{(0{,}00509\frac{m^3}{s})^{1/2}}{(14{,}33m)^{3/4}}$$

= 48,963 RPM

Dari perhitungan diatas didapat kecepatan spesifik (n_s) tergolong dalam *low speed impeller*. Berdasarkan gambar 4.4 (*sumber: Khetagurov Marine Auxiliary Machineryand System)*



Gambar 4.3 Putaran Spesifik *Impeller*

4.3 Daya Penggerak

4.3.1 DayaFluida / *Water Horse Power (WHP)*

Energi yang diterima oleh fluida dari pompa dengan menghasilkan perubahan energi tekanan dan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$WHP = \gamma \times Q \times H$$

Dimana:

WHP : Daya Fluida (kW)

γ : Berat fluida persatuan volume (N/m^3)

Q : Kapasitas yang direncakan (m^3/s)

H : Head efektif instalasi (m)

Dari data yang diperoleh sebagai berikut:

$$- > Q = 18{,}33 \frac{m^3}{1 jam} x \frac{1 jam}{3600 s} = 0{,}00509 \frac{m^3}{s}$$

$$->\gamma=\rho\cdot g=1170\frac{kg}{m^3}\times 9{,}81\frac{m}{s^2}$$

$$=11477{,}7\frac{N}{m^3}=11{,}4777\frac{kN}{m^3}$$

$$->H_{eff}=14{,}33m$$

Sehingga :

$WHP = \gamma \times Q \times H$

$$= 11{,}4777\frac{kN}{m^3}\times 0{,}00509\frac{m^3}{s}\times 14{,}33m$$

$= 0{,}838\ kW$

4.3.2 Perhitungan Daya Poros (P_{shaft})

Daya poros adalah daya yang digunakan untuk menggerakkan pompa ditambah kerugian di dalam pompa, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut.

$$P_{shaft}=\frac{WHP}{\eta_p}$$

Besarnya nilai efisiensi pompa didapat dengan melakukan *plotting* nilai putaran spesifik (n_s) dengan nilai kapasitas (Q) pada gambar 4.4. Untuk mendapatkan nilai n_s , dapat digunakan persamaan dibawah ini.

$$n_s = n\frac{\sqrt{Q}}{{H_{eff}}^{3/4}}$$

Diketahui :

- n = 1280 rpm
- (Q) = $0{,}00509\ \frac{m^3}{s}$ x 60 $\frac{s}{min}$

$= 0{,}305\,\frac{m^3}{min}$

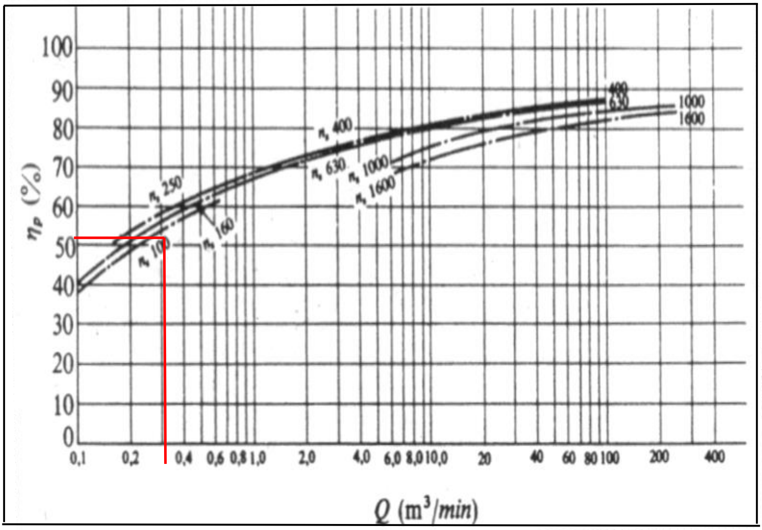
- Head Efektif (H_{eff}) $= 14{,}33\ m$, maka

$$n_s = 1280\ rpm\,\frac{\sqrt{Q}}{{H_{eff}}^{3/4}}$$

$$n_s = 1280 rpm\,\frac{\sqrt{0{,}305\frac{m^3}{min}}}{(14{,}33m\,)^{3/4}}$$

n_s= 96,029 rpm

Setelah n_s dihitung.Selanjutnya nilai n_s diplot bersama nilai kapasitas pada grafik efisiensi standart pompa menurut putaran spesifik (gambar 4.4).



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kapasitas dan efisiensi

Dari gambar 4.4, (*Ref.Sularso,HT.Pompa dan Kompresor*) efisiensi standar pompa untuk kondisi n_s = 96,029 rpm dan Q= 0,305 m^3/min, maka efisiensi standar pompa (η_P) diambil 52%. Sehinnga perhitungan P_{shaft}

$$P_{shaft} = \frac{WHP}{\eta_p}$$

$$P_{shaft} = \frac{0{,}838\ kW}{0{,}52}$$

$$P_{shaft} = 1{,}612\ \text{kW}$$

4.3.3 Daya Nominal Penggerak

$$P_m = \frac{P(1+\alpha)}{\eta_t}$$

Dimana :

P_m : daya nominal penggerak (kW)

α : faktor cadangan (kW)

η_t : efisiensi transmisi

Daya nominal harus ditentukan untuk daya poros pompa maksimum (P_{shaft}) dalam kerja normal. Karakteristik kerja dari sebuah pompa ialah bervariasi. (*Ref.Sularso,HT.Pompa dan Kompresor)*

Tabel 4.3 Faktor Cadangan

Jenis Penggerak	**A**
Motor Induksi	0,1 – 0,2
Motor Bakar Kecil	0,15 – 0,25
Motor Bakar Besar	0,1 – 0,2

Tabel 4.4 Efisiensi Transmisi

Jenis Transmisi		**η_t**
Sabuk Rata		0,92 – 0,93
Sabuk V		0,95
Roda Gigi	Roda Gigi Lurus Satu Tingkat	0,92 – 0,95
	Roda Gigi Miring Satu Tingkat	0,95 – 0,98
	Roda Gigi Kerucut Satu Tingkat	0,92 – 0,96
	Roda Gigi Planiter Satu Tingkat	0,95 – 0,98
Kopling Hidrolik		0,95 – 0,97

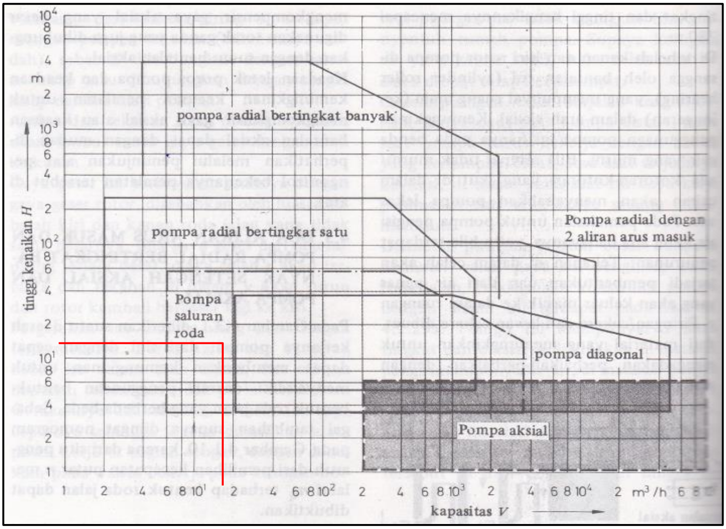
dari data yang diketahui :

P_{shaft} = 1,612 kW
α = 0,2
η_t = 1

sehingga :

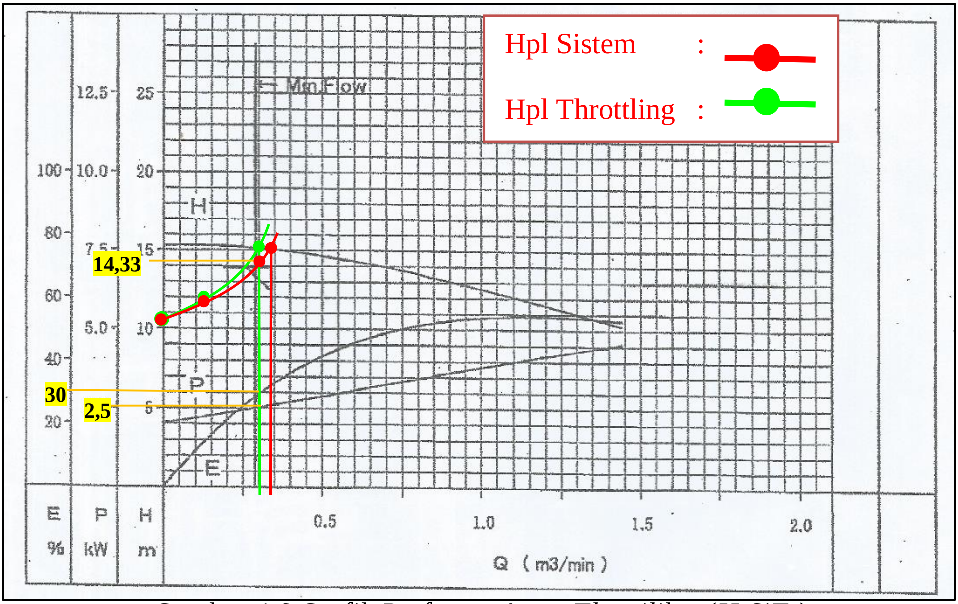
$$P_m = \frac{P(1+\alpha)}{\eta_t} = \frac{1{,}612kW \times (1+0{,}2)}{0{,}95} = 2{,}036kW$$

4.4 Penentuan Jenis Pompa



Gambar 4.5 Grafik Pemilihan Pompa

Dilihat dari gambar diatas (*Sumber : ''Turbin, Pompa dan Kompresor'' Ir.Dakso Sriyono dan Prof.Ing. Fritz Dietzel, Erlangga, Jakarta.1993, hal. 282)*, untuk kondisi kapasitas (Q) = 18,33 m^3/h dan *Head* Effektif (H_{eff}) = 14,33 m. Maka dapat diplotkan pada diagram dan pompa untuk instalasi yang ada adalah jenis pompa radial bertingkat satu (*centrifugal pump single stage).*



Gambar 4.6 Grafik Performa *Asam Fluosilikat* (*H_2SiF_6*) *Warman Pump*

Pada gambar 4.6 *(Sumber :PT Petrokimia Gresik)* didapat dari hasil performance test pompa Asam Fluosilikat tipe 4-3 SCB EO R/L 4VOR V. Dengan menggunakan grafik tersebut akan dimasukkan kurva *Head Pipeline* sesuai dengan perhitungan.

Dikarenakan dengan memasukkan kurva *Head Pipeline* sistem (warna merah) pada gambar 4.6, maka didapatkan efisiensi sebesar 30% dengan *head efektif* sebesar $14{,}33\ m$ dan kapasitas sebesar $0{,}305 \frac{m^3}{min}$, maka pemilihan awal pompa sentrifugal dengan pabrikan WARMAN telah sesuai dengan kondisi instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (*H_2SiF_6*) pada PT Petrokimia Gresik karena masih berada di bawah kurva performa kerja. Untuk mendapatkan besarnya *head efektif* yang dibutuhkan, maka dalam pengoperasian pompa dilakukan dengan throttling.Pada $Hpl_{throttling}$ (warna hijau) di dapatkan data berikut :

- Head = 15 m
- Efisiensi = 30 %

Berdasarkan hasil plotting kurva karakteristik pompa universal bedasarkan *Head* dan kapasitas serta mempertimbangkan daya penggerak, daya poros dan putaran pompa, maka dapat dipilih pompa jenis :

Jenis pompa	: *Centrifugal Pump*
Merk	: *Warman Pump*
Putaran	: 1280 rpm
Model	: 4-3 SCB EO R/L 4VOR V
Driver	: Electric Motor
Kapasitas	: 18,33 m^3/jam
Total Head	: 13,9 m (*Clean Water*)
Daya Poros	: 3,04 kW
Daya Motor	: 5,5 kW
$NPSH_R$	: 2,5 m (Data Sheet)
Pabrik	: WARMAN

4.5 Checking Kondisi Perhitungan Menggunakan Software *Pipe Flow Expert*

Checking ini dilakukan dengan menggunakan *software pipe flow expert*, dengan cara memasukkan inputan data *properties* instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6), kemudian program dijalankan (*run*).

4.5.1 Langkah-langkah Permodelan dan Simulasi dengan *Software Pipe Flow Expert*

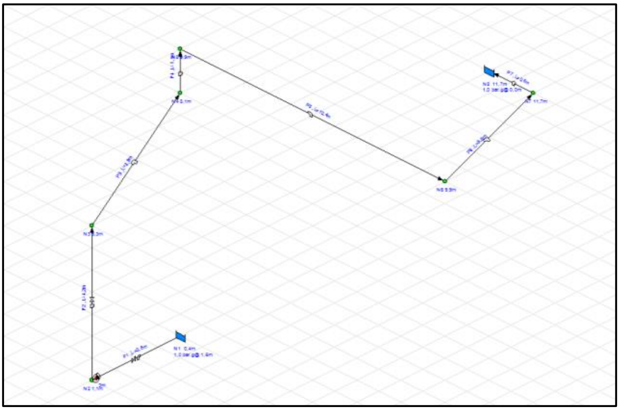
Software pipe flow expert digunakan untuk *checking* nilai *head* pompa, berikut langkah-langkahnya :

a. Pembuatan model instalasi perpipaan sesuai dengan kondisi di lapangan PT Petrokimia Gresik dengan menggunakan *software pipe flow expert*.

b. Pemberian (pengaturan) untuk *properties* fluida kerja yang digunakan seperti jenis fluida kerja, temperature (T), tekanan (P), *density* (ρ), *viscositas absolut* (μ) dan *vapor pressure* (P_v).
c. Pemberian (pengaturan) untuk ukuran harga *properties* instalasi perpipaan seperti diameter (D), panjang pipa (L) serta elevasi (Z) lengkap dengan satuannya.
d. Pemberian (pengaturan) untuk jenis satuan yang akan digunakan seperti *metris* atau yang lebih dikenal dengan Satuan Internasional (SI) ataupun *imperial* yang lebih dikenal dengan satuan British.
e. Pemberian (pengaturan) aksesoris instalasi seperti *valve, fitting, reducer, elbow, expansion joint* dan lain-lain beserta harga K dari tiap-tiap aksesoris tersebut.
f. Pemberian (pengaturan) komponen pompa lengkap dengan kapasitas (Q) yang dialirkan serta putaran pompa (rpm) dan sebagainya

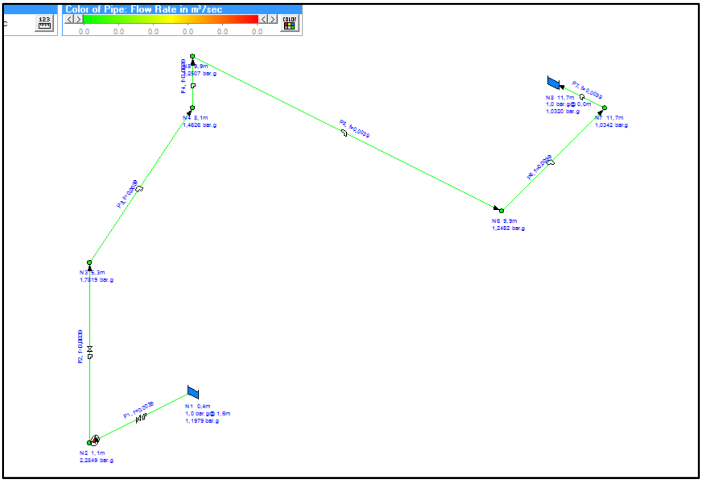
4.5.2 Perhitungan Secara Pemodelan Numerik

Dengan menggunakan *software Pipe Flow Expert,* maka selain perhitungan secara manual perhitungan secara pemodelan *numerik* pun dapat dilakukan.

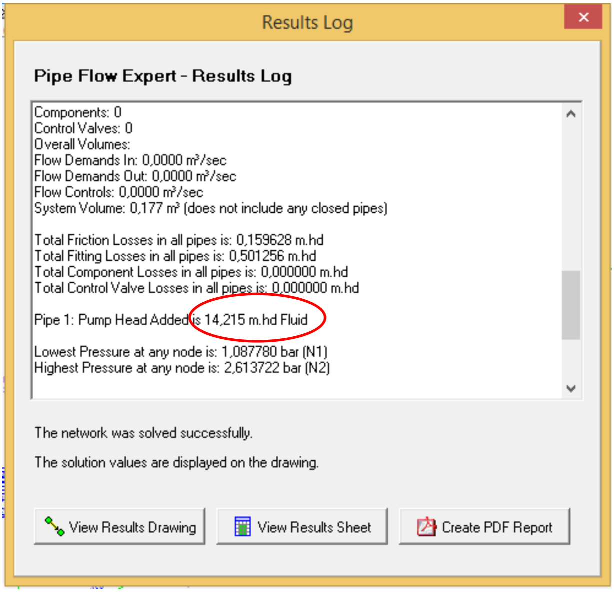


Gambar 4.7 Instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) dengan menggunakan *software pipe flow expert.*

Lalu untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, khususnya head efektif instalasi pompa, maka dengan meng-*klik calculate*, akan muncul tampilan seperti pada gambar 4.8 dan 4.9

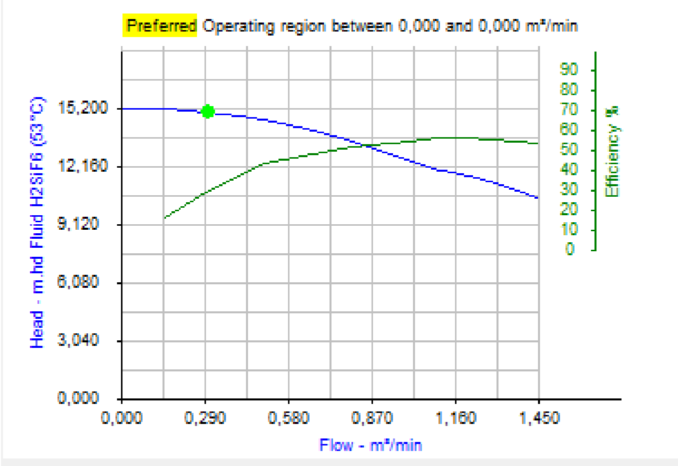


Gambar 4.8 Instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) setelah di *calculate*



Gambar 4.9 Hasil setelah di-*calculate*

Dengan melihat gambar 4.9, didapatkan harga *Head* Efektif pompa = *14,33 m hd Fluid.*



Gambar 4.10 Grafik Pompa setelah di-calculate

4.5.3 Perbandingan Head Efektif Teoritis (H_{eff}) dengan Head Efektif Numerik ($H_{eff\ PFE}$)

Dengan berdasarpada kedua perhitungan head efektif instalasi di atas dapat diketahui tingkat kesalahan perhitungan adalah

$$\text{Tingkat kesalahan} = \frac{H_{eff} - H_{eff\ PFE}}{H_{eff}} \times 100\%$$

$$= \frac{14{,}33 - 14{,}215}{14{,}33} \times 100\%$$

$$= 0{,}802\ \%$$

BAB V
KESIMPULAN

Pada bab berikut ini memaparkan kesimpulan dan saran dari hasil perhitungan dan pemilihan ulang instalasi pompa dalam pembahasan mengenai instalasi pompa *Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* pada Unit Produksi Phosporic Acid Pabrik III di PT. Petrokimia Gresik.

1.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan ulang dapat disimpulkan sebagai berikut :
   a. Kapasitas fluida yang dipompakan oleh pompa sentrifugal *single stage Asam Fluosilikat* (H_2SiF_6) *pump* yaitu 18,33 m^3/jam untuk memenuhi proses di *filter tank.*
   b. Kecepatan yang diijinkan, diameter yang sesuai untuk pipa *suction dan* pipa *discharge* sebesar 4 inch dengan jenis pipa *HDPE SDR 11*.
   c. *Head* efektif pompa (H_{eff}) dari perhitungan *manual* didapat 14,33 m dan dari perhitungan menggunakan *pipe flow expert* didapat 14,215 m dengan selisih tingkat kesalahannya 0,802%.
   d. Hasil Perhitungan $NPSH_A$ sebesar = 3,179 m.
   e. Hasil perhitungan daya penggerak pompa, didapatkan daya sebesar = 2,039 KW.
   f. Pompa yang dipilih adalah jenis pompa sentrifugal *single stage* , merk *Warman Pump dengan type 4-3 SCB EO R/L 4VOR V*

2. PT. Petrokimia Gresik sangat mengutamakan peranan pemeliharaan karena merupakan salah satu pendukung kelancaran proses produksi yang lebih ditekankan untuk menjaga peralatan pabrik agar dapat bekerja dengan baik. Sebagai contoh pemeliharaan pompa beserta instalasi perpipaan yang rutin dilakukan inspeksi setiap shut down.

1.2 Saran

Adapun saran untuk PT. Petrokimia Gresik yaitu :

a. Sistem pengoperasian dari PT. Petrokimia Gresik cukup baik, mengingat sarana dan prasarana produksi cukup banyak, maka diperlukan operator yang lebih banyak dan berkualitas. Selain itu struktur organisasi cukup baik dan dapat dipertanggung jawabkan.
b. Dalam mendukung kemajuan dari suatu perusahaan sebaiknya selalu diperlukan keprofesionalan dari seluruh karyawan.
c. Data-data yang dibutuhkan mengenai perlengkapan atau peralatan secara mendetail sebaiknya tersedia cukup baik.
d. Untuk melakukan penghematan biaya dan daya instalasi lebih efisien, penulis menyarankan pemakaian instalasi dan pemilihan pompa berdasarkan perhitungan pada buku laporan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Dietzel, Fritz. *Turbin Pompa dan Kompresor, Alih Bahasa.*

[2] Fox, Robert W ; Mc Donald, Alan T. 2010. *Introduction To Fluid Mechanics, 8th edition*. New York : John Wiley and Sons,inch.

[3] Karassik, Igor J. 1960 .*Pump Handbook*. McGraw-Hill, Inc

[4] Khetagurov, M. *Marine Auxiliary Machinery and Systems*. Diterjemahkan oleh Nicholas Weinstein dari bahasa Rusia. Moscow: Peace Publishers.

[5] Mohinder L. Nayyar. *Piping Handbook, 7th ed*. 1994. McGraw-Hills.

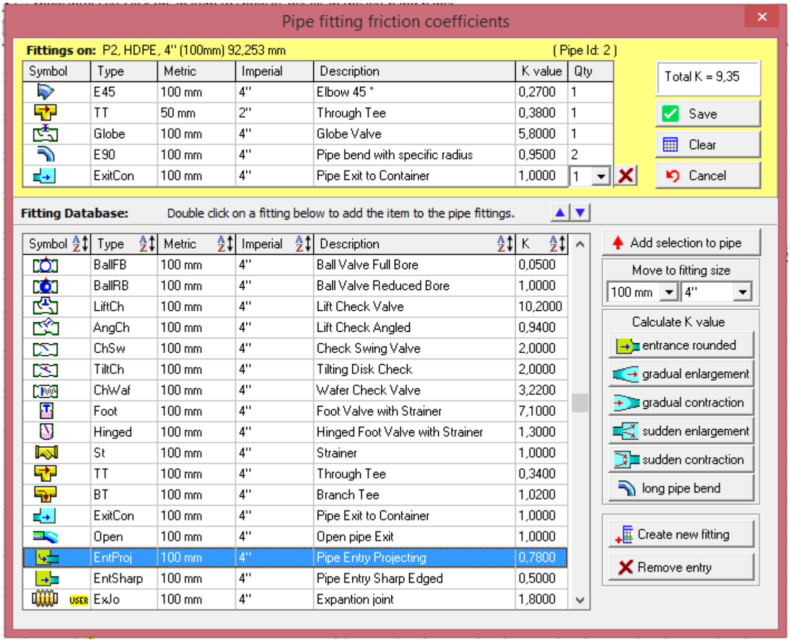
[6] Moran, Michael J and Shapiro, Howard N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 8th ed.* John Wiley and Sons, 2014

[7] Silowash, Brian . *Piping System Manual,* 2010. McGraw-Hills

[8] Sularso ; Tahara,Haruo. 2006. *Pompa dan Kompressor*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.

[9] www.Pipeflow.Co.Uk. *Pipe Flow Expert*. Software. 2010.

LAMPIRAN 1 : Nilai Fitting dari *pipe flow expert*



Pipe fitting friction coefficients

Fittings on: P2, HDPE, 4" (100mm) 92,253 mm (Pipe Id: 2)

Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K value	Qty
	E45	100 mm	4"	Elbow 45 °	0,2700	1
	TT	50 mm	2"	Through Tee	0,3800	1
	Globe	100 mm	4"	Globe Valve	5,8000	1
	E90	100 mm	4"	Pipe bend with specific radius	0,9500	2
	ExitCon	100 mm	4"	Pipe Exit to Container	1,0000	1

Total K = 9,35

Save

Clear

Cancel

Fitting Database: Double click on a fitting below to add the item to the pipe fittings.

Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K
	BallFB	100 mm	4"	Ball Valve Full Bore	0,0500
	BallRB	100 mm	4"	Ball Valve Reduced Bore	1,0000
	LiftCh	100 mm	4"	Lift Check Valve	10,2000
	AngCh	100 mm	4"	Lift Check Angled	0,9400
	ChSw	100 mm	4"	Check Swing Valve	2,0000
	TiltCh	100 mm	4"	Tilting Disk Check	2,0000
	ChWaf	100 mm	4"	Wafer Check Valve	3,2200
	Foot	100 mm	4"	Foot Valve with Strainer	7,1000
	Hinged	100 mm	4"	Hinged Foot Valve with Strainer	1,3000
	St	100 mm	4"	Strainer	1,0000
	TT	100 mm	4"	Through Tee	0,3400
	BT	100 mm	4"	Branch Tee	1,0200
	ExitCon	100 mm	4"	Pipe Exit to Container	1,0000
	Open	100 mm	4"	Open pipe Exit	1,0000
	EntProj	100 mm	4"	Pipe Entry Projecting	0,7800
	EntSharp	100 mm	4"	Pipe Entry Sharp Edged	0,5000
USER	ExJo	100 mm	4"	Expantion joint	1,8000

Add selection to pipe

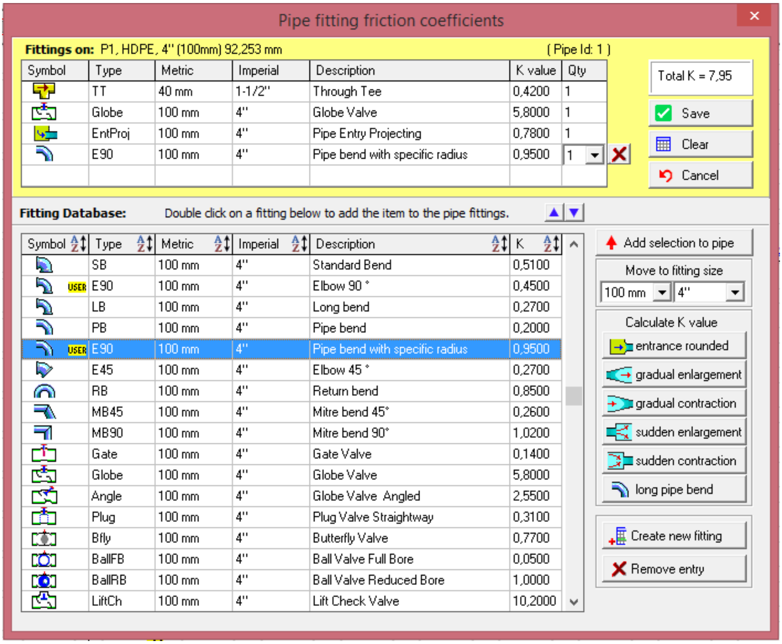
Move to fitting size: 100 mm, 4"

Calculate K value: entrance rounded; gradual enlargement; gradual contraction; sudden enlargement; sudden contraction; long pipe bend

Create new fitting

Remove entry

LAMPIRAN 2: Lanjutan



Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K value	Qty
	TT	40 mm	1-1/2''	Through Tee	0,4200	1
	Globe	100 mm	4''	Globe Valve	5,8000	1
	EntProj	100 mm	4''	Pipe Entry Projecting	0,7800	1
	E90	100 mm	4''	Pipe bend with specific radius	0,9500	1

Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K
	SB	100 mm	4''	Standard Bend	0,5100
USER	E90	100 mm	4''	Elbow 90 °	0,4500
	LB	100 mm	4''	Long bend	0,2700
	PB	100 mm	4''	Pipe bend	0,2000
USER	E90	100 mm	4''	Pipe bend with specific radius	0,9500
	E45	100 mm	4''	Elbow 45 °	0,2700
	RB	100 mm	4''	Return bend	0,8500
	MB45	100 mm	4''	Mitre bend 45°	0,2600
	MB90	100 mm	4''	Mitre bend 90°	1,0200
	Gate	100 mm	4''	Gate Valve	0,1400
	Globe	100 mm	4''	Globe Valve	5,8000
	Angle	100 mm	4''	Globe Valve Angled	2,5500
	Plug	100 mm	4''	Plug Valve Straightway	0,3100
	Bfly	100 mm	4''	Butterfly Valve	0,7700
	BallFB	100 mm	4''	Ball Valve Full Bore	0,0500
	BallRB	100 mm	4''	Ball Valve Reduced Bore	1,0000
	LiftCh	100 mm	4''	Lift Check Valve	10,2000

[Sumber: *Pipe Flow Expert*]

LAMPIRAN 3 : *Recommended Velocities in Pipeline*

Fluid	Application	Range			
		Low	High	Low	High
		ft/sec	ft/sec	m/sec	m/sec
Acetylene		67		20.4	
Air	Air or Flue Gas Ducting	10	35	3.0	10.7
Air	Centrifugal Compressor - All Piping	50	100	15.2	30.5
Air	Piston Compressor Discharge	70	100	21.3	30.5
Air	Piston Compressor Suction	50	70	15.2	21.3
Ammonia	Gaseous	33	100	10.1	30.5
Ammonia	Liquid	2	6	0.6	1.8
Benzene		6		1.8	
Bromine	Gaseous	33		10.1	
Bromine	Liquid	4		1.2	
Calcium Chloride		4		1.2	
Carbon Tetrachloride		6		1.8	
Chlorine	Dry Gas	33	83	10.1	25.3
Chlorine	Dry Liquid	5		1.5	
Chloroform	Gaseous	33		10.1	
Chloroform	Liquid	6		1.8	
Ethylene	Gaseous	100		30.5	
Ethylene Dibromide		4		1.2	
Ethylene Dichloride		6		1.8	
Ethylene Glycol		6		1.8	
Hydrochloric Acid	Gaseous	67		20.4	
Hydrochloric Acid	Liquid	5		1.5	
Hydrogen		67		20.4	
Methyl Chloride	Gaseous	67		20.4	
Methyl Chloride	Liquid	6		1.8	
Natural Gas	75 psig and Below Main Lines	35	115	10.7	35.1
Natural Gas	Cross-Country	80	250	24.4	76.2
Natural Gas	Low Pressure Main Lines	3	6	0.9	1.8
Oil	Gravity Flow	2	3	0.6	0.9
Oil	Heavy Viscosity	2	3	0.6	0.9
Oil	Light Viscosity	3	6	0.9	1.8
Oil	Suction Lines	3	4	0.9	1.2
Oxygen	Up to 200 psig	30	100	9.1	30.5
Paper Stock	2% to 2.5% A.D Consistency	3	10	0.9	3.0
Paper Stock	3% to 6% A.D. Consistency	1	8	0.3	2.4
Perchlorethylene		6		1.8	
Propylene Glycol		5		1.5	
Sand	5 to 25% by Volume	12		3.7	

LAMPIRAN 4 : Lanjutan

Fluid	Application	Range			
		Low	High	Low	High
		ft/sec	ft/sec	m/sec	m/sec
Sand	Coarse & Granulated Slag	12	13	3.7	4.0
Sand	Fine Graded	8	10	2.4	3.0
Sand	Gravel up to 1/2"	14		4.3	
Sand	Ordinary	11		3.4	
Sewage	Slurry	2.5	3	0.8	0.9
Sodium Chloride	No Solids	5	8	1.5	2.4
Sodium Chloride	With Solids	6	15	1.8	4.6
Sodium Hydroxide	0% - 30%	6		1.8	
Sodium Hydroxide	30% - 50%	5		1.5	
Sodium Hydroxide	50% - 73%	4		1.2	
Steam	Boiler to Turbine Cold Reheat	100	135	30.5	41.1
Steam	Boiler to Turbine Hot Reheat	135	170	41.1	51.8
Steam	HP Bypass of Turbine	200	270	61.0	82.3
Steam	HP District Heating	833	1250	253.9	381.0
Steam	Long Run	135	200	41.1	61.0
Steam	LP Bypass of Turbine	270	335	82.3	102.1
Steam	Saturated up to 15 psig for Heating	17	70	5.2	21.3
Steam	Saturated, 50 psig and Higher	100	167	30.5	50.9
Steam	Superheated 200 psig and Higher	167	300	50.9	91.4
Steam	Superheated Main	100	200	30.5	61.0
Styrene		6		1.8	
Sulfur Dioxide		67		20.4	
Sulfuric Acid		4		1.2	
Tar	Discharge Lines	2	2.5	0.6	0.8
Tar	Gravity Flow	1	1.5	0.3	0.5
Tar	Suction Lines	1	2	0.3	0.6
Trichlorethylene		6		1.8	
Vinyl Chloride		6		1.8	
Vinylidene Chloride		6		1.8	
Water	Boiler Feedwater Discharge	10	17	3.0	5.2
Water	Centrifugal Pump Discharge	5	12	1.5	3.7
Water	Centrifugal Pump Suction	2	5	0.6	1.5
Water	City Water/Service Mains	2	5	0.6	1.5
Water	Fire Hose		10		3.0
Water	General Service	4	10	1.2	3.0
Water	Gravity Flow	2	3	0.6	0.9
Water	Hot Water Recirc		3		0.9
Water	Reciprocating Pump Discharge	5	10	1.5	3.0
Water	Reciprocating Pump Suction	2	5	0.6	1.5
Water	Sea Water	5	12	1.5	3.7

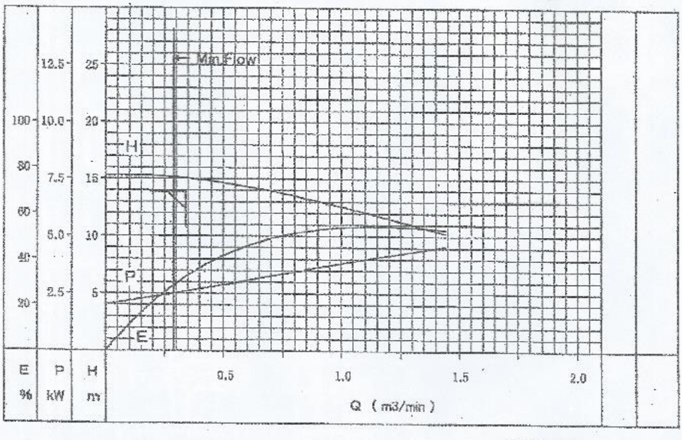
[Sumber: Brian Silowash. *Piping System Manual*, 2010. McGraw-Hills]

LAMPIRAN 5 : Kurva Performansi Pompa

ポンプ予想性能曲線図（清水）
PUMP ESTIMATED PERFORMANCE CURVE CHART(CLEAN WATER)

御注文主 Customer	PT. PETROKIMIA GRESIK
ポンプ形式 Type of Pump	4-3 SCB EO R/L 4VOR V
ポンプ名称 Pump Name	No. 1 H_2SiF_6 Pump
機器番号 Item No.	30-P-2345
電動機要目 Motor	High Efficiency 5.5 kW 4 P 50 Hz
仕様揚液 Specified Liquid	H_2SiF_6 Solution (Asam flue silica) Asam fluo silica
液比重 S.G.of Liquid	1.17

規定項目 Specified Items	吐出し量 Discharge Q (m3/h)	全揚程 Total Head H (m)	回転速度 Speed of Rotation N (min⁻¹)	軸動力 Shaft Power P (kW)	ポンプ効率 Pump Efficiency E (%)
清水 Clean Water	20	13.9	1280	2.60	29.7
仕様揚液 Specified Liquid				3.04	



20130629023

備考 Remarks:

図番 DRG.No.	PGB-062152
承認 Approved by	T. Saiton
作成 Prepared by	M. Kokurai
日付 Date	Oct.30,2013

大平洋機工株式会社 Pacific Machinery & Engineering Co.,Ltd.

[Sumber: PT.Petrokimia Gresik]

LAMPIRAN 6 : Data Sheet Pompa

WARMAN PUMP DATA SHEET

Pacific Machinery & Engineering Co.,Ltd.

Job No. :			
PROJECT Name : REVAMP OF PHOSPHORIC ACID PLANT PROJECT		Date	Oct.30, 2013
Customer	PT. PETROKIMIA GRESIK	Drawing No.	PGD-062151 / Rev.
Item No.	Pump Name	Approved by	[signature]
30-P-2345	No. 1 H2SiF6 Pump	Prepared by	M. Kokumai

Quantity	1	Type of Pump	4-3 SCB EO R/L 4VOR V		Case Type	Single Suction Volute Pump
Specified Items	Discharge 20 m3/h	Shaft Power (Conn. Head) 2.60 kW	Rotation	Nozzle Size	Suction	Discharge
	Total Head 13.9 m	Shaft Power (Spec. Liquid) 3.04 kW	Viewed from Pump Driving Side		100 mm	80 mm
	Speed of Rotation 1280 min-1	Drive Arr. V - Belt	Clockwise	Location	End	Top
Driving Type	Continuity h/d	Suction Head kPa(A): MAX NOR MIN 100	NPSHA 7.07 m / NPSH3 2.5 m	Rating of Companion Flange	Manufacturer standard	Manufacturer standard
Specified Liquid	H2SiF6 Solution	Temp. 53 ℃	Density of Slurry wt%		Impeller Type	
		S.G. of Liquid 1.17	pH		4 Vanes	
		Viscosity 1.1 cp			Semi - Open	

Materials	Impeller	CSM70	Shaft Sleeve	D-20			Bolt (Motor Base)	SUS304
	Liner	CSM70	Lantern Ring	D-20	Bolt (Pump)	SUS304	Bolt (Acc.)	SUS304
	Expeller	CSM	Shaft	SUS420J2	Seal Type : Expeller Seal			
	Expeller Ring	D-20			Material	CSM		

					Items	Quantity	Material	Remarks
Motor	Manufacture	HITACHI	Voltage	380 V	Standard Accessories (Per One Pump)			
	Type	T.E.F.C.O.D.	Frequency	50 Hz	Motor Base	1	SS400	
	Output	5.5 kW	Insulation	F	Foundation Bolt	1	SUS304	
	Pole	4 P			Foundation Nut	1	SUS304	
	High Efficiency							
Utility	Type / l/min / MPa		V-Pulley Type	B x 4	Companion Flange	1	SS400	
	Sealing Water / 0.5 / <0.03			O.D. (Pump) 201 mm	Safety Cover	1	SS400	
					V-Pulley(Motor Side)	1	FC	
				O.D. (Motor) 176 mm	V-Belt	1 Set		B - 56

Painting			Special Accessories (All Items)	
RAL7035				
Motor Mount	Overhead			
Approximate Mass	Attached Drawings			
Pump 195 kg	Estim. Curve	PGE - 062152		
Motor (70) kg	[illegible]	PGH - 062153		
Accessories 67 kg	Outline Drawing	2013A-0629023-0-0	Spare Parts (All Items)	
	Sectional Drawing	2013B-0629023-0-0	Seal	4 CSM
Total (332) kg	[illegible]	2013F-0629023-0-0	Sealing Washer I	1 CF
Remarks	[illegible]	2013W1- 0629023-0-0	Sealing Washer E	2 CF
Estimated noise level (1m): 75dB	NOZZLE ALLOWABLE FORCES & MOMENTS DATA	PGH - 062208		

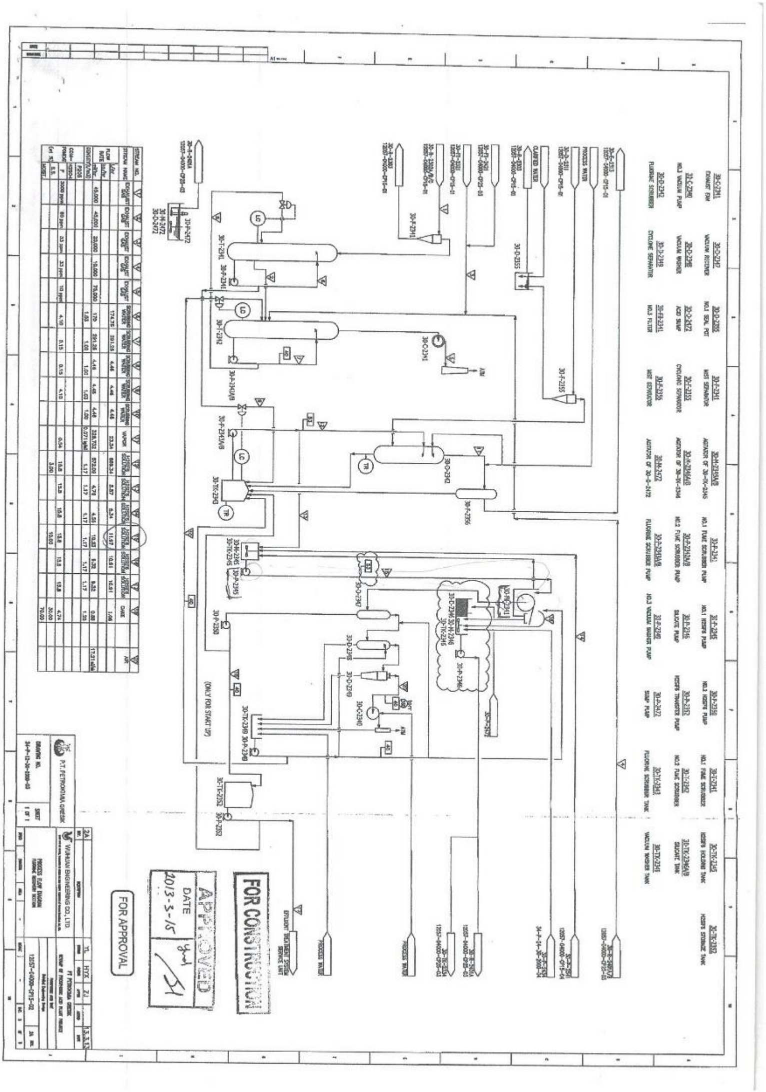
FOR CONSTRUCTION
APPROVED
DATE 2014-06-19

Rev.	Contents	Date	Prepared by	Rev.	Contents	Date	Prepared by

ϕ = 11477,7

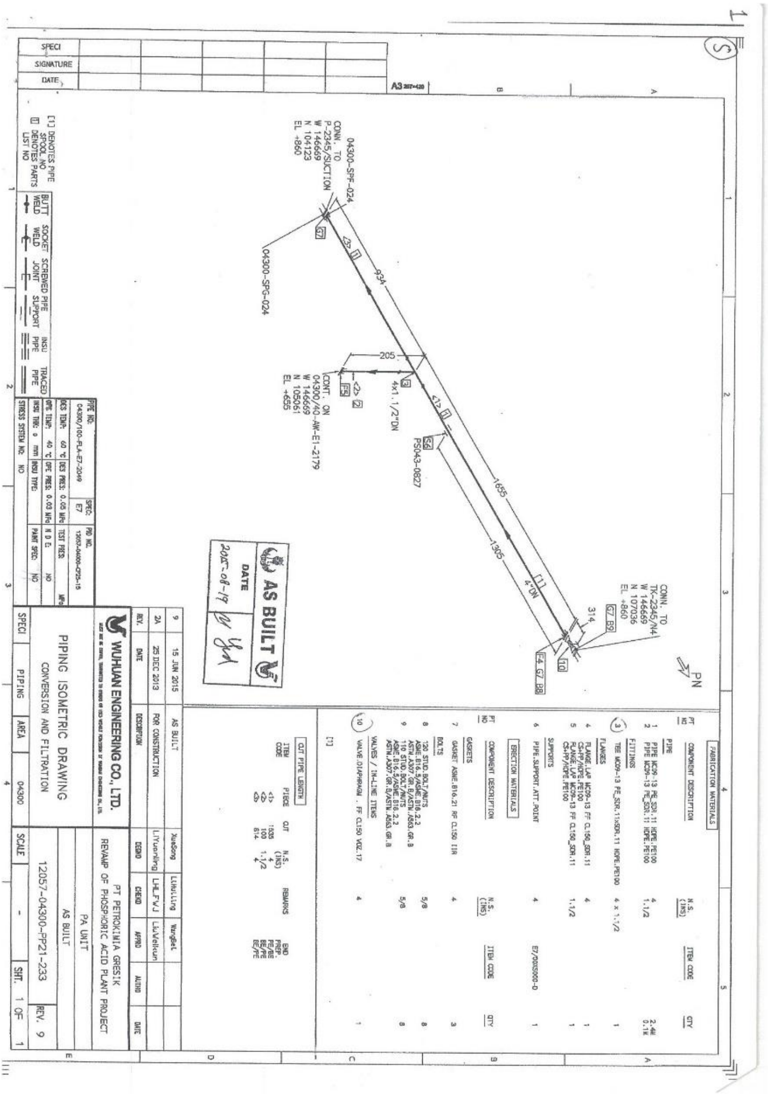
[Sumber: PT.Petrokimia Gresik]

LAMPIRAN 7 : P&ID Pompa



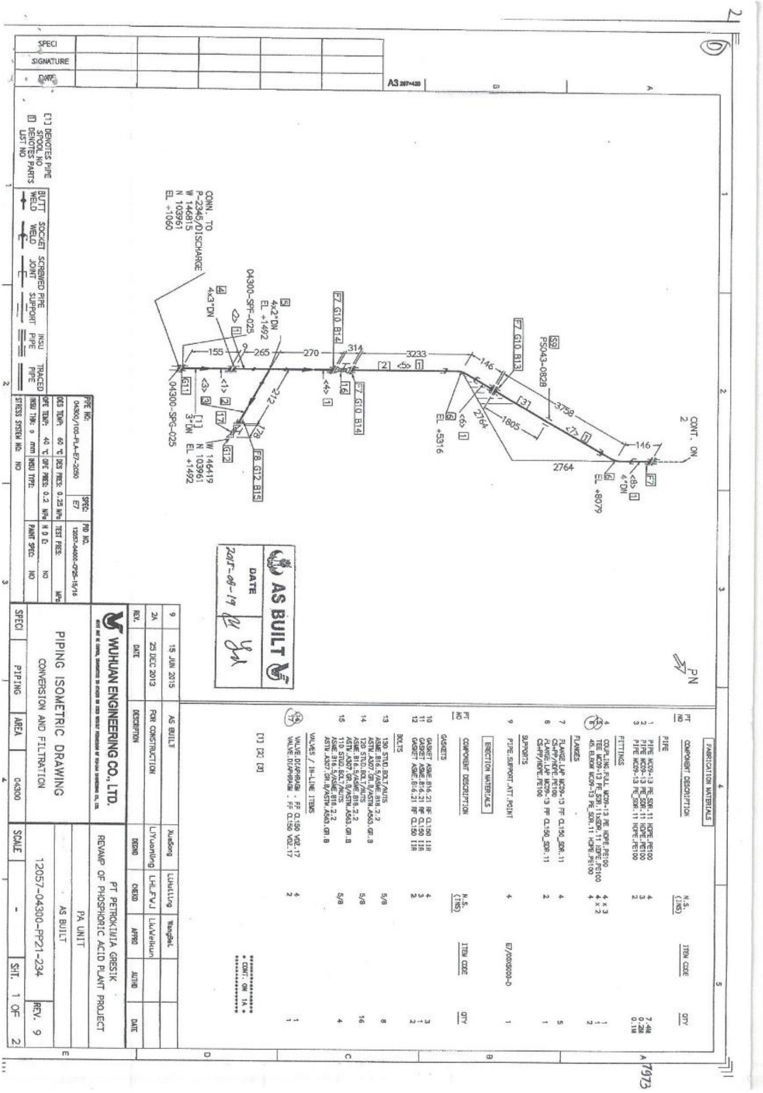
[Sumber: PT.Petrokimia Gresik]

LAMPIRAN 8 : Isometri Pompa



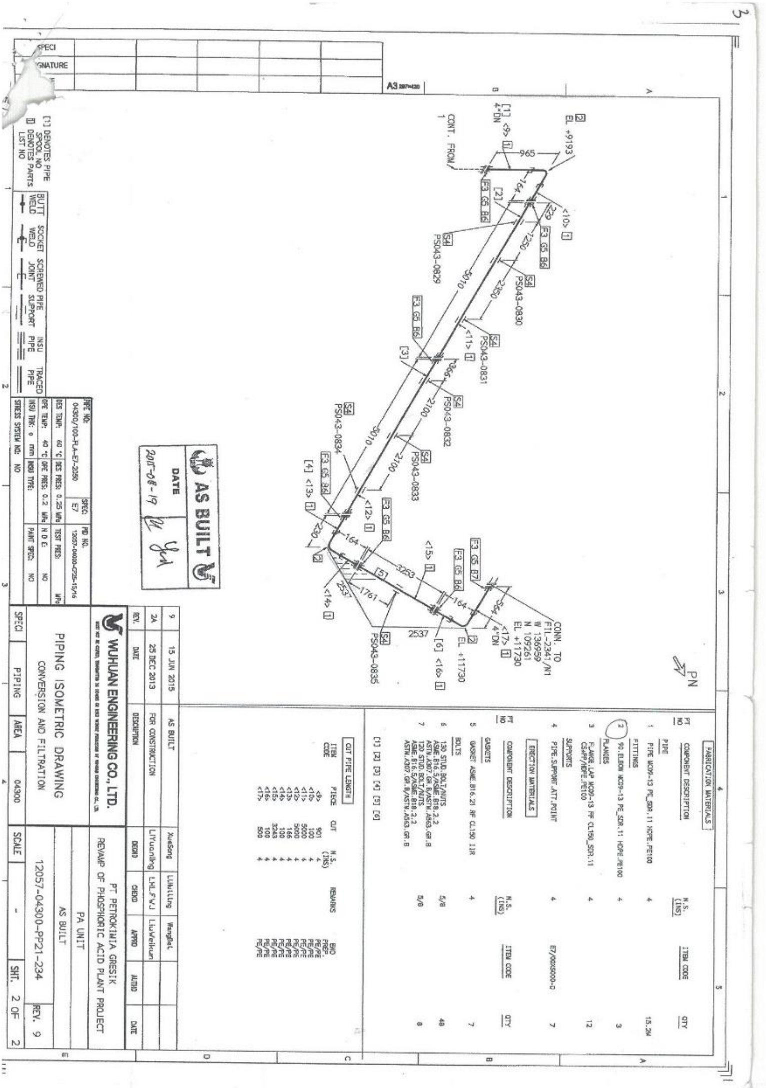
[Sumber: PT.Petrokimia Gresik]

LAMPIRAN 9 : Lanjutan



[Sumber: PT.Petrokimia Gresik]

LAMPIRAN 10 : Lanjutan



[Sumber: PT.Petrokimia Gresik]

LAMPIRAN 11 : DOKUMENTASI

LAMPIRAN 12 : Lanjutan

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Kota Malang, 11 Nopember 1996, merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Kartika V Malang, SDN Bunulrejo 6 Malang, SMP Negeri 21 Malang, dan SMA Negeri 4 Malang. Pada tahun 2014 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin FV-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2114 030 092. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Menjadi Staff PROKESMA HMDM FV-ITS Periode 2015-1016. PT SUZUKI INDOMOBILE MOTOR Tambun, Bekasi merupakan tempat kerja praktek penulis selama satu bulan pada tanggal 18 Juli s/d 18 Agustus 2015 di bidang perawatan mesin *supply energy*. Penulis juga pernah menjadi Ketua Pelaksana *Study Excursie* D3 Teknik Mesin FV-ITS Angkatan 2014 yang dilaksanakan pada tahun 2016.

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah ITS (2014), Pelatihan Motor Bakar HMDM FTI-ITS (2014), Pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar (Pra-TD) FTI-ITS (2014) , Pelatihan LKMM Tingkat Dasar (TD) FTI-ITS (2015), Pelatihan Pemandu LKMM FTI-ITS (2015). Selain pelatihan penulis juga mengikuti beberapa lomba seperti lomba karya tulis ilmiah di tingkat kampus dan nasional.

Email: prima.atma@gmail.com