



UNIVERSITAS INDONESIA

**KERUGIAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP)
PIPA MULUS ACRYLIC Ø 8MM**

SKRIPSI

**TORANG RIDHO SOUVENIERGUS
0806368906**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KERUGIAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP)
PIPA MULUS ACRYLIC Ø 8MM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**TORANG RIDHO SOUVENIERGUS
0806368906**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Torang Ridho Souveniergus

NPM : 0806368906

Tanda Tangan :



Tanggal : 23 Juni 2011

Universitas Indonesia

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Torang Ridho Souveniergus
 NPM : 0806368906
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa Mulus
 Acrylic Ø 8mm.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng Msc ()

Penguji : Ir. Marcus Alberth Talahatu, MT ()

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo ()

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ()

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmatnya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng Msc., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi arahan, bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
2. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan bermacam ilmu yang telah didapat;
3. Seluruh staf karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah membantu dalam proses penelitian pengering semprot;
4. Kedua orangtua penulis S.M.P Tampubolon Barimbing dan Tiurma Sirait, juga adikku Roi Bintang P terima kasih kalian telah mendukung selama ini. Skripsi ini kupersembahkan untuk kalian.
5. Keluarga besar Sirait dan Keluarga besar Tampubolon yang telah memberikan dukungan moral dan do'a.
6. Muhammad Andriaz dan Muhammad Haikal saudara seperjuangan dalam mengerjakan penelitian ini.
7. Teman-teman seperjuangan PPSE Teknik Mesin UI angkatan 2008 atas doa dan bantuannya.
8. Teman-teman dari Lab Teknik Menengah Universitas Gunadarma
9. Teman-teman moncokerto, matraman yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Universitas Indonesia

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011



Penulis



Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Torang Ridho Souveniergus

NPM : 0806368906

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

KERUGIAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP) PIPA MULUS

ACRYLIC Ø 8mm

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan,



(Torang Ridho Souveniergus)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Torang Ridho Souveniergus
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa Mulus
Acrylic Ø 8mm.

Kerugian jatuh tekanan (pressure drop) memiliki kaitan dengan koefisien gesek dan merupakan hal penting dari sistem aliran fluida di dalam pipa karena berhubungan dengan penggunaan energi. Air murni merupakan salah satu dari fluida-fluida sederhana yang digunakan pada penelitian kerugian jatuh tekan. Air merupakan fluida newtonian dimana viskositasnya hanya berpengaruh oleh perubahan temperatur.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan yang terjadi pada aliran fluida di dalam pipa acrylic Ø 8mm, Bilangan Reynolds dan koefisien gesek. Aliran fluida memiliki karakteristik pokok (laminer atau turbulen). Nilai Bilangan Reynolds 2000-4000 menunjukkan aliran laminer dan diatas nilai 4000 menunjukkan turbulen. Nilai Bilangan Reynolds yang tinggi berarti ada kecepatan aliran yang tinggi, perluasan fluida dan viskositas yang kecil. Gesekan antara fluida dan dinding pipa dapat diabaikan karena yang digunakan adalah pipa mulus dan koefisien gesek adalah antara partikel fluida yang diam dan yang bergerak.

Dari pengujian ini didapatkan data debit aliran, perbedaan ketinggian air, kecepatan aliran dan viskositas fungsi temperatur. Spesifikasi dari alat pengujian yang diperlukan juga didapatkan untuk diolah menggunakan persamaan-persamaan empiris sehingga didapatkan hasil pengolahan, tampilan grafik hasil pengolahan yang akan dibandingkan dengan grafik secara teoritis. Grafik yang ditampilkan merupakan hubungan antara Bilangan Reynolds dan koefisien gesek dimana semakin kecil Bilangan Reynolds (laminer) maka akan semakin tinggi koefisien gesek pada. Perbedaan ketinggian air melalui alat ukur (pressure gauge) juga menunjukkan besar kecilnya kerugian energi tersebut. Semakin tinggi perbedaan ketinggian air antar tiap titik alat pengukur tekanan maka kerugian energi semakin besar.

Kata kunci: Pressure Drop, Koefisien Gesek, Pipa Bulat, Bilangan Reynold

ABSTRACT

Nama : Torang Ridho Souveniergus
Program Studi : Mechanical Engineering
Judul Skripsi : Pressure Drop In Smooth Pipeline Ø 8mm

Pressure drop has a relevancy with the coefficient of friction and its significant case of the system of fluid rate in the pipeline cause it's related with energy consumption. Pure water is one of plain fluids used on pressure drop research. Water is newtonian fluid which its viscosity depends on temperature change only.

This research done in order to understand the pressure drop occurs at fluid rate in the acrylic pipeline Ø 8mm, Reynolds Number and coefficient of friction. Fluid rate has a fundamental characteristic (laminar or turbulent). The value of Reynolds Number 2000 up to 4000 appears the laminar rate and more than 4000 for turbulent. High value of Reynolds Number appears high velocity of fluid rate, fluid expansion and low viscosity. Friction between the fluid and the pipe wall can be neglected because the pipe used in this research is a smooth pipe and friction is between static fluid and moving fluid.

From the research obtains the capacity of rate, difference of water height, velocity of rate and viscosity depended on temperature change. Specification of the equipment required is also getting to processing that uses empirical equations, so it will get the processing result, processing result graphic will be compared with the theoretical graphic. The graphic being appeared is relation between Reynolds Number and coefficient of the friction, where on the wane of Reynolds Number (laminar), so then the coefficient of friction increased. A difference of water height through the measuring instrument (pressure gauge) also appears amount of losses. The higher a difference of water height inter each point of pressure gauge, so the losses become bigger.

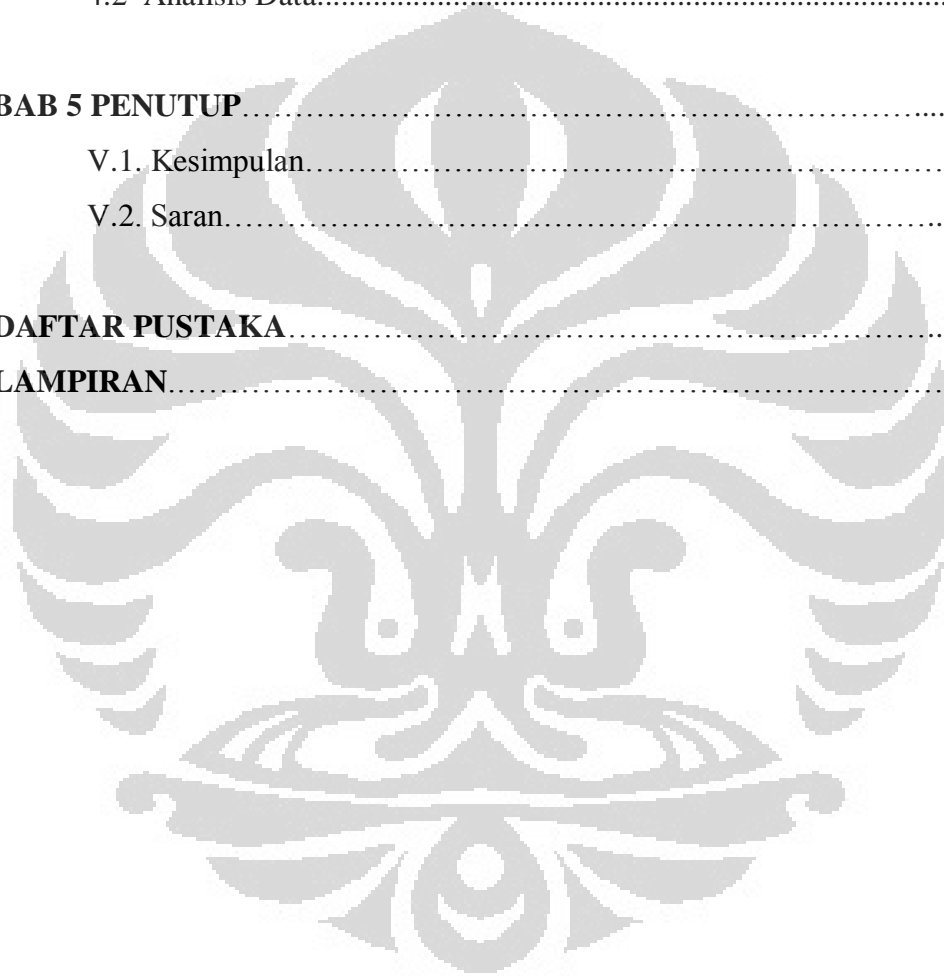
Keywords: Pressure drop, Coefficient of friction, circular pipe, Reynolds Number

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
2.2 Tujuan Penulisan.....	2
3.3 Metode Penelitian.....	2
4.4 Batasan Masalah.....	2
5.5 Metodologi Penelitian.....	2
6.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Defenisi Fluida.....	5
2.2 Type Dan Karakteristik Aliran Fluida.....	5
2.2.1 Karakteristik Aliran Fluida.....	5
2.2.2 Type Aliran Fluida.....	7
2.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Aliran Fluida.....	8
2.3 Klasifikasi Fluida.....	9
2.3.1 Fluida Newtonian.....	9
2.3.2 Fluida Non-Newtonian.....	9

2.4	Sifat-sifat Dasar Fluida.....	13
2.4.1	Kerapatan (density).....	13
2.4.2	Berat Jenis (specific gravity).....	14
2.4.3	Tekanan (pressure).....	14
2.4.4	Kekentalan (viscosity).....	16
2.5	Energy Dan Head.....	18
2.5.1	Energy.....	18
2.5.2	Persamaan Bernoulli.....	19
2.6	Kerugian Head (Head Losses).....	20
2.6.1	Kerugian Head Mayor.....	20
2.6.2	Kerugian Head Minor.....	23
2.7	Aliran Laminer Dan Turbulen.....	24
2.8	Lokasi Peletakan Lubang (Tap) Beda Tekanan.....	26
2.8.1	Flange Taps.....	26
2.8.2	Vena Contracta Taps.....	27
2.8.3	Pipe Taps.....	28
2.8.4	Corner Taps.....	29
BAB 3 DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....		30
3.1	Rancangan Alat Uji.....	30
3.2	Peralatan Pendukung.....	31
3.2.1	Pompa Sentrifugal.....	31
3.2.2	Tangki Air.....	34
3.2.3	Katup/Valve.....	35
3.2.4	Manometer.....	35
3.2.5	Termometer.....	36
3.2.6	Gelas Ukur.....	37
3.2.7	Stopwatch.....	38
3.2.6	Timbangan.....	38
3.2.7	Pipa Penyalur.....	39
3.3	Prosedur Pengambilan Data.....	39

BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....	41
4.1 Perhitungan Data.....	41
4.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan.....	41
4.1.2 Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida.....	43
4.1.3 Perhitungan Friksi.....	45
4.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds.....	46
4.2 Analisis Data.....	47
BAB 5 PENUTUP.....	50
V.1. Kesimpulan.....	50
V.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	52

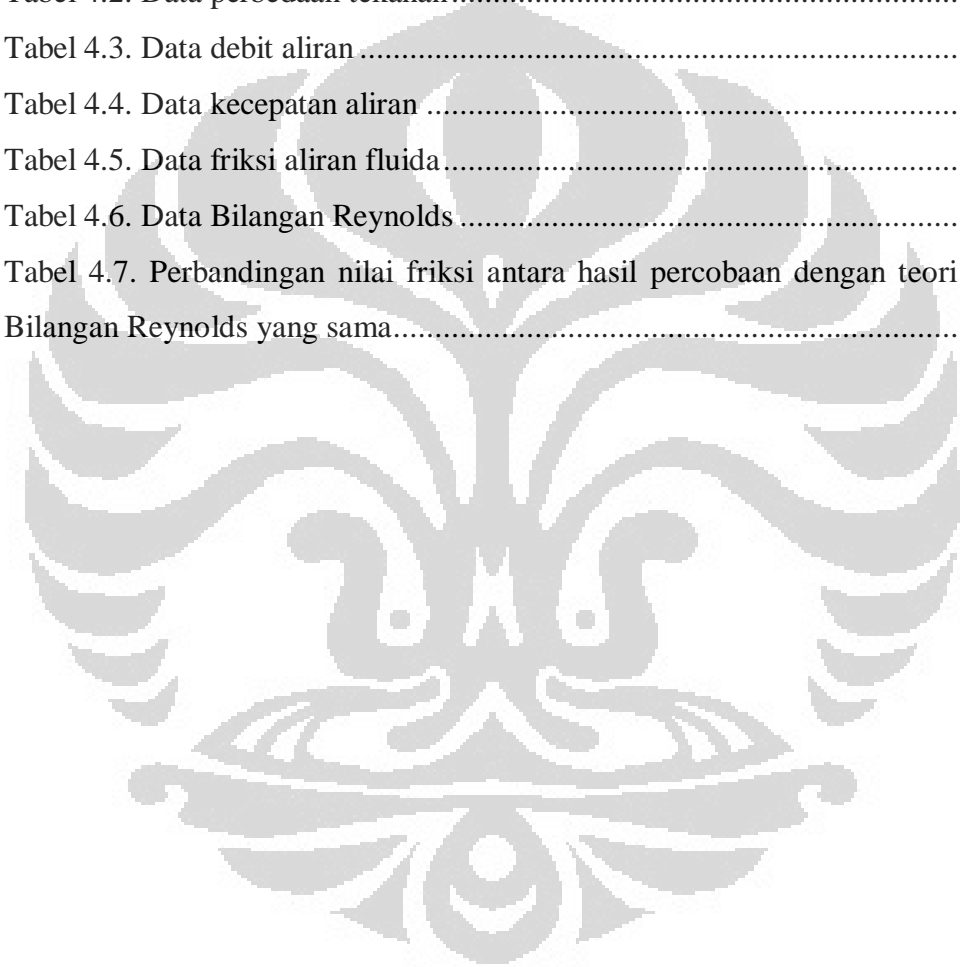


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagan klasifikasi aliran fluida	6
Gambar 2.2. Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian	10
Gambar 2.3. Distribusi Kecepatan bingham plastic fluid pada pipa	11
Gambar 2.4. Hubungan <i>shear stress</i> (τ) - <i>shear rate</i> ($\dot{\gamma}$) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu	12
Gambar 2.5. Tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak	15
Gambar 2.6. Penentuan kekentalan.....	16
Gambar 2.7. Ilustrasi persamaan Bernoulli	20
Gambar 2.8. Diagram Moody.....	21
Gambar 2.9. Perilaku aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh	25
Gambar 2.10. Flange Taps	27
Gambar 2.11. Vena Contracta Taps	28
Gambar 2.12. Pipe Taps	28
Gambar 2.13. Corner Taps	29
Gambar 3.1. Instalasi alat uji pipa bulat.....	30
Gambar 3.2. Part pompa sentrifugal	32
Gambar 3.3. Pompa Sentrifugal	34
Gambar 3.4. Tangki Air	35
Gambar 3.5. Valve dengan busur derajat	35
Gambar 3.6. Termometer Air Raksa.....	37
Gambar 3.7. Gelas Ukur.....	38
Gambar 3.8. Stopwatch.....	38
Gambar 3.9. Timbangan Digital	39

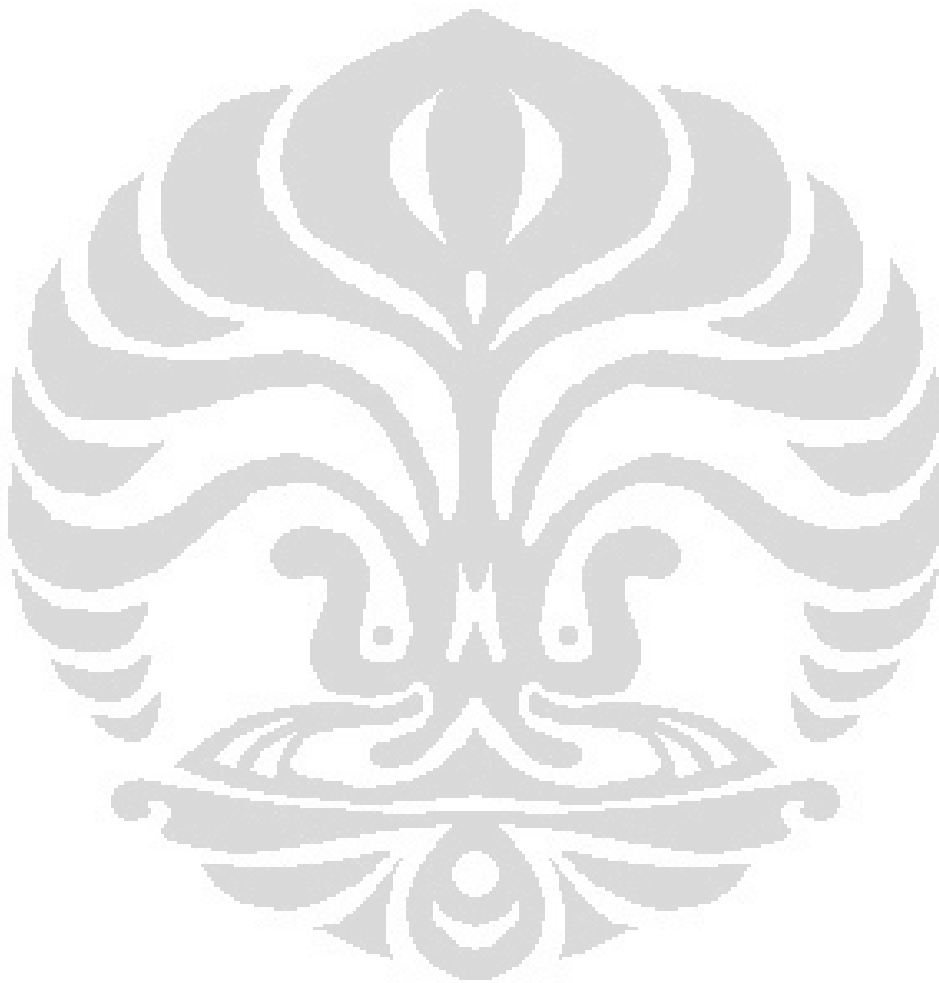
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Berbagai kerapatan (density) bahan	13
Tabel 2.2. Koefisien kekentalan untuk berbagai fluida	17
Tabel 2.3. Nilai kekerasan dinding untuk berbagai pipa komersil	22
Tabel 2.4. Ketebalan Maksimuim Flat Orifice untuk Flange Taps	27
Tabel 4.1. Data perbedaan ketinggian manometer	41
Tabel 4.2. Data perbedaan tekanan.....	42
Tabel 4.3. Data debit aliran	43
Tabel 4.4. Data kecepatan aliran	44
Tabel 4.5. Data friksi aliran fluida.....	45
Tabel 4.6. Data Bilangan Reynolds	46
Tabel 4.7. Perbandingan nilai friksi antara hasil percobaan dengan teori dengan Bilangan Reynolds yang sama.....	47



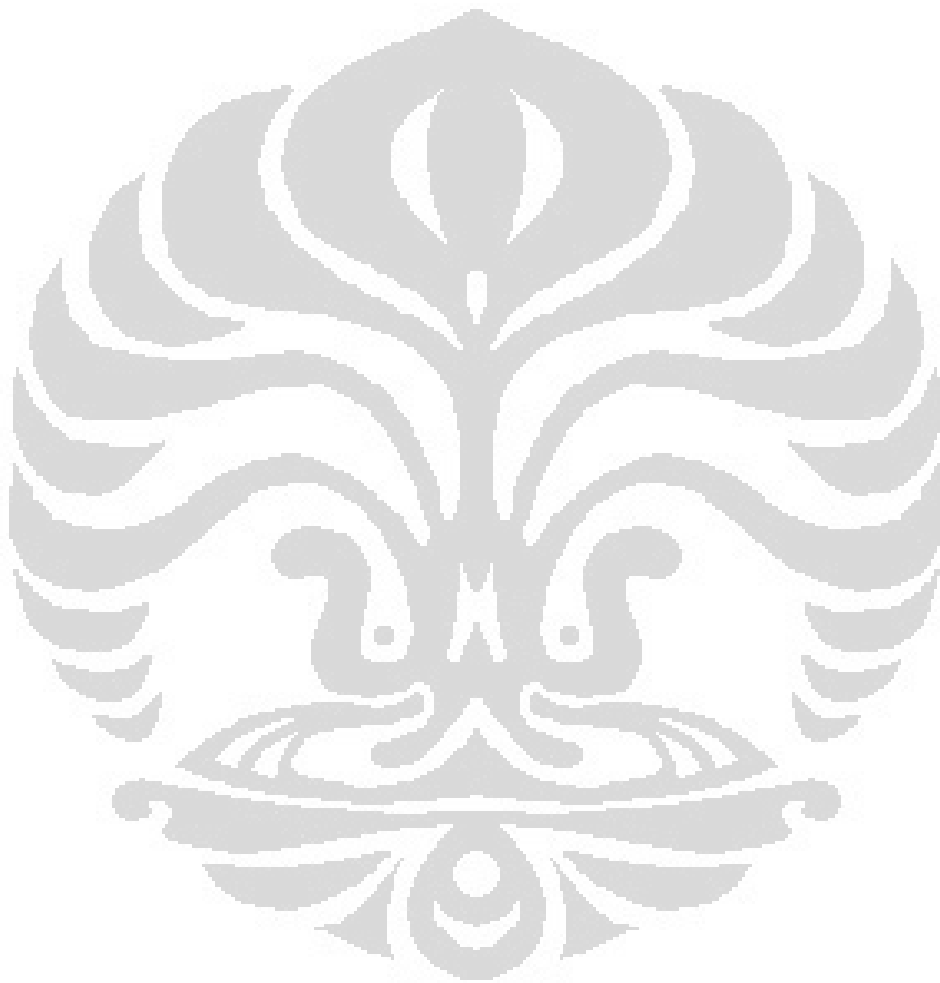
DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.7. Perbandingan nilai friksi antara hasil percobaan dengan teori dengan Bilangan Reynolds yang sama..... 49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar AutoCAD Alat.....	52
Lampiran 2. Proyeksi tampak alat	53
Lampiran 3. Grafik hubungan koefisien gesek dan bilangan Reynolds pada beberapa bentuk pipa	54
Lampiran 4. Properti fisika dari air murni	55



DAFTAR NOTASI

Ketinggian manometer	= h	(mm)
Perbedaan ketinggian mamometer	= Δh	(mm)
Perbedaan tekanan	= ΔP	(Pa)
Temperatur fluida	= T	(°C)
Waktu	= t	(s)
Volume fluida	= Vol	(ml)
Kecepatan aliran fluida	= u	(m/s)
Diameter pipa	= D_{in}	(mm)
Luas permukaan aliran	= A	(m ²)
Debit fluida	= Q	(m ³ /s)
Kecepatan gravitasi	= g	(m/s ²)
Panjang antar tap	= L	(m)
Viskositas Kinematik	= ν	(m ² /s)
Viskositas dinamik	= μ	(kg m ⁻¹ s ⁻¹)
Massa jenis	= ρ	(kg m ⁻³)
Massa	= m	(kg)
Koefisien Gesek	= f	
Bilangan Reynolds	= Re	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tantangan dunia akan pemanasan global, perubahan iklim dan penghematan pemakaian energi sangat penting untuk terus diteliti oleh para ilmuwan dunia. Metode baru diciptakan dan metode lama terus dikembangkan. Ilmu mekanika fluida sangat berperan penting dalam mengetahui karakteristik fluida saat mengalir. Secara umum fluida terbagi menjadi 2 yaitu fluida Newtonian : fluida yang kekentalannya hanya dipengaruhi temperatur dan fluida non-Newtonian : fluida yang kekentalannya bukan saja dipengaruhi oleh temperatur tetapi dipengaruhi juga oleh perubahan kecepatan aliran dan waktu pemakaian. Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi. Kerugian energi yang di butuhkan untuk memindahkan fluida disebut kerugian jatuh tekanan. Kerugian jatuh tekanan yang membutuhkan energi dapat direduksi dengan pengurangan hambatan dalam aliran.

Untuk mendorong fluida dalam sistem perpipaan dibutuhkan energi yang sesuai dengan kapasitas aliran yang dibutuhkan. Pemakaian energi yang diperlukan itu dapat kita hemat dengan tidak mengurangi kapasitas yang sudah ditentukan. Penghematan itu didapat bila nilai kerugian jatuh tekanan pada fluida yang di beri aditif nilainya lebih kecil dari fluida standartnya sehingga dinamakan pengurangan hambatan. Pengurangan hambatan dapat didefinisikan dengan pengurangan nilai koefisien gesek untuk aliran di dalam pipa atau pengurangan koefisien bentuk pada aliran luar. Koefisien gesek didapat dari tegangan geser (shear stress) yang terjadi diantara setiap perbedaan lapisan kecepatan. Kecepatan pada dinding pipa adalah nol, kecepatan ini akan berangsur naik bila menjauhi dinding dan mencapai maksimum pada sumbu pipa. Pengurangan nilai koefisien gesek didapatkan dengan mengurangi kekuatan olakan yang terjadi pada aliran, semakin kuat olakan semakin besar kerugian jatuh tekanan.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui terjadinya kerugian jatuh tekanan yang terjadi pada pipa bulat lurus.
2. Mengetahui friksi yang terjadi pada aliran dalam pipa.
3. Membandingkan friksi yang terjadi pada aliran dalam pipa, dengan teori yang sudah ada berdasarkan bilangan reynoldnya

1.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan penelitian secara langsung di laboratorium. Penelitian meliputi pengujian langsung dan tidak langsung. Pengujian langsung adalah pengujian untuk mendapatkan variabel yang dapat diketahui dengan cara mengukur nilainya seperti perbedaan tekanan melalui perbedaan ketinggian manometer, debit aliran, dan perbedaan tekanan melalui perbedaan ketinggian manometer. Sedangkan pengujian tidak langsung adalah mendapatkan variable dengan cara mengolahnya melalui berbagai formula yang ada sehingga didapatkan hasil dari variable yang digunakan pada pengujian langsung seperti kapasitas aliran, kecepatan aliran dan bilangan Reynolds.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan (minor losses) dan friksi yang terjadi yang terjadi pada pipa lurus diameter dalam 8 mm.

1.5 Metodologi Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing

Tujuan daripada konsultasi dengan dosen pembimbing untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam

Universitas Indonesia

pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

2. Membuat alat uji di laboratorium

Membuat alat uji laboratorium sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian tersebut.

3. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian tersebut selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literature (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan team skripsi dan dosen pembimbing.

4. Pengolahan data

Data mentah dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis dan proses selanjutnya.

5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis terjadinya kerugian jatuh tekanan dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa spiral lengkung agar dapat mengetahui kecepatan minimum atau kritis aliran supaya tidak terjadi proses pengendapan, sehingga diharapkan dengan kecepatan tersebut dapat menghemat pemakaian energi melalui pengurangan daya pompa yang digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana

Universitas Indonesia

penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang landasan teori, jenis-jenis fluida, jenis aliran dalam pipa, sifat-sifat fluida, dan persamaan umum mekanika fluida.

BAB III : RANCANGAN ALAT UJI

Bab ini menjelaskan tentang rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV : PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

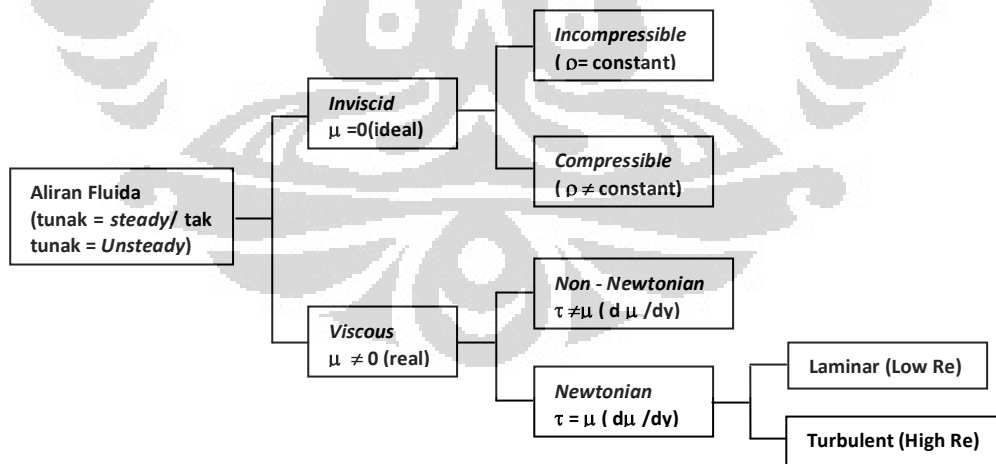
BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Defenisi Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat berubah secara terus-menerus bila menerima tegangan geser walaupun tegangan geser itu relative kecil. Fluida dalam keadaan diam artinya tidak ada gaya geser yang bekerja pada fluida tersebut, seluruh gaya akan tegak lurus pada bidang fluida dimana gaya tersebut bekerja.

2.2 Type Dan Karakteristik Aliran Fluida

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida sebagai contoh aliran dapat digolongkan sebagai aliran steady atau unsteady, satu, dua atau tiga dimensi, seragam atau tidak seragam, laminar atau turbulen dan dapat mampat atau tidak dapat mampat. Selain itu, aliran gas ada yang subsonik, transonik, supersonik atau hiperrsonik, sedangkan zat cair yang mengalir disaluran terbuka ada yang sub kritis, kritis atau super kritis.



Gambar 2.1 Bagan klasifikasi aliran fluida

2.2.1 Karakteristik Aliran Fluida

Secara garis besar karakteristik aliran fluida dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut :

- a. *Steady Flow* (tunak): Adalah dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (dimanapun juga).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

- b. *Uniform Flow* (seragam): Terjadi apabila besar dan arah dari titik kecepatan tidak berubah dari titik ketitik dalam fluida.

$$\frac{\partial u}{\partial s} = 0 \quad \begin{array}{l} U \text{ (kecepatan, konstan sepanjang lintasan)} \\ A \text{ (penampang lintasan juga konstan)} \end{array}$$

- c. *Non Steady Flow*: Terjadi apabila ada suatu perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu (ada percepatan).

$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0$$

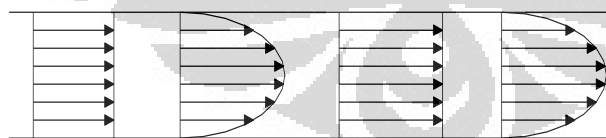
- d. *Non Uniform Flow*: U dan A (kecepatan dan penampang) berubah sepanjang lintasan.

$$\frac{\partial u}{\partial s} \neq 0$$

Dari keempat *type* aliran tersebut dapat terjadi 4 jenis kemungkinan aliran

Steady Uniform Flow

Aliran tidak berubah terhadap letak dan waktu kecepatan dan potongan bidang aliran dimana-mana akan sama. Contoh: Kecepatan aliran dalam pipa yang mempunyai diameter yang *uniform*

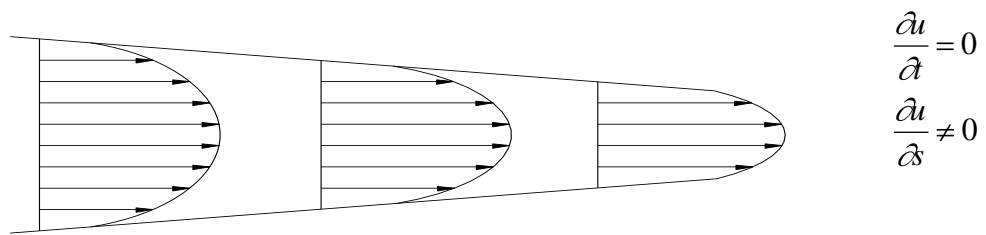


$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} = 0$$

Steady-Non Uniform Flow

Aliran mungkin akan berubah terhadap letaknya akan tetapi tidak bervariasi terhadap waktu. Kecepatan dan potongan bidang dari alirannya mungkin akan berubah dari satu potongan kepotongan lain. Tetapi setiap potongan tidak akan bervariasi terhadap waktu.



Non Steady - Uniform Flow

Pada suatu kecepatan disetiap titik akan sama tetapi kecepatan akan bervariasi terhadap perubahan waktu. Contoh: Aliran yang mempunyai kecepatan, mengalir pada pipa yang berdiameter konstan seperti yang terjadi pada saat pompa mulai dihidupkan.

$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} = 0$$

Non Steady Non Uniform Flow

Potongan bidang aliran dan kecepatannya berubah dari titik ketitik, juga berubah dari waktu kewaktu. Contoh : Aliran yang bergelombang, mengalir melalui suatu saluran.

$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} \neq 0$$

e. *Compressible Flow* : ρ (kerapatan) berubah-ubah.

f. *Incompressible Flow* : ρ Konstan sepanjang lintasan

2.2.2 Type Aliran Fluida

Dapat dibedakan dalam beberapa type antara lain :

a. *One dimensional flow*

Adalah aliran dimana parameter-parameternya mempunyai gradien dalam satu arah, sama dengan arah aliran (x).

b. *Two dimensional flow*

Parameternya mempunyai gradien dalam 2 (dua) arah, arah aliran (x) dan arah (tegak lurus) aliran y.

c. *Three dimensional flow*

Parameternya mempunyai gradien dalam 3 (tiga) arah, arah aliran (x), arah (y) dan (z) aliran.

d. *Laminar Flow*

Tidak terjadi pencampuran partikel antar lapisan.

e. *Turbulent Flow*

Terjadi pencampuran partikel antar lapisan.

f. *Subsonic flow*

Alirannya < Kecepatan suara.

g. *Transonic flow*

Alirannya = Kecepatan Suara

h. *Supersonic flow*

Alirannya > Kecepatan suara.

i. *Hypersonic flow*

Alirannya >> Kecepatan suara.

j. *Critical flow*

Alirannya = Permukaan gelombang elementer.

k. *Sub critical flow*

Alirannya < Permukaan gelombang elementer.

l. *Super critical flow*

Alirannya > Permukaan gelombang elementer.

2.2.3 Faktor Yang Mempengaruhi Aliran Fluida

Ada beberapa factor yang mempengaruhi aliran fluida, yaitu :

a. Laju Aliran Volume

Laju aliran volume disebut juga debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$Q = A V \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

A = Luas penampang pipa [m]

Q = Debit aliran [m²/s]

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

v = Volume aliran [m^3]

Q = Debit aliran [m^2/s]

t = waktu aliran [s]

b. Kecepatan fluida (V)

Didefinisikan besarnya debit aliran yang mengalir persatuan luas.

$$u = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

u = kecepatan atau laju aliran (m/sec)

Q = debit aliran (m^3/ sec)

A = Luas penampang (m^2)

2.3 Klasifikasi Fluida

Fluida merupakan suatu zat yang tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja sehingga akan mengalami deformasi. Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu :

2.3.1 Fluida *Newtonian*

Fluida *Newtonian* adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva shear stress dan gradient kecepatan yang linier, seperti air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida *Newtonian* akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperature. Pada dasarnya fluida *Newtonian* adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dengan persamaan :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

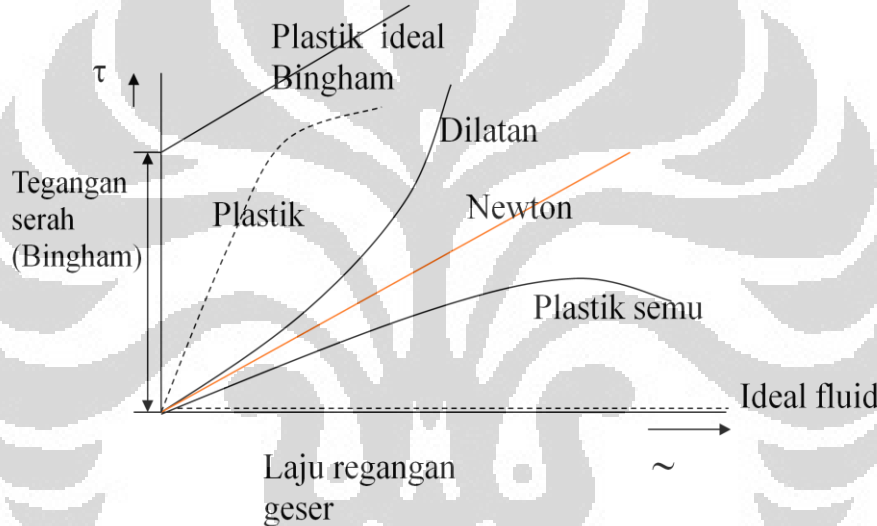
τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viskositas dinamik fluida

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = Gradient kecepatan fluida

2.3.2 Fluida *Non-Newtonian*

Fluida *Non-Newtonian* adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (shear stress), gradient kecepatan (shear rate), dan temperature seperti cat, minyak pelumas, darah, bubur kertas, obat-obatan cair, dll. Viskositas fluida *Non-Newtonian* merupakan fungsi dari waktu dimana gradient kecepatannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.



Gambar 2.2 Hubungan antara *shear stress* – *shear rate* pada *fluida non-newtonian*

Ada beberapa model pendekatan untuk fluida *Non-Newtonian*, antara lain :

a) *Bingham plastic*

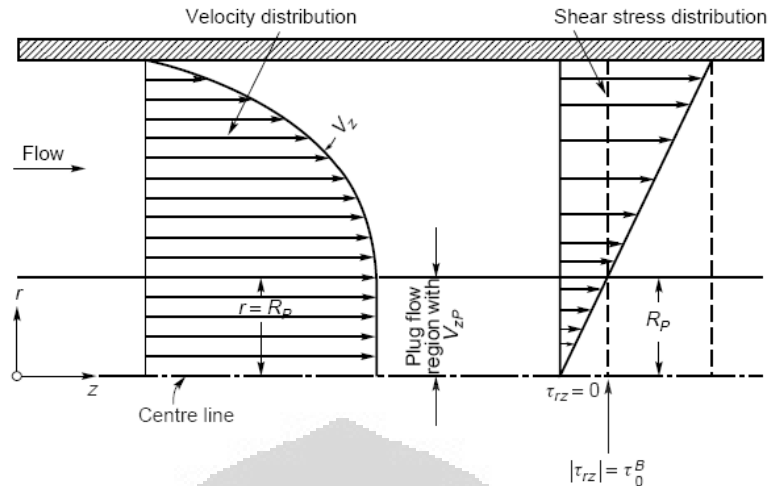
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viskositasnya sangat bergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan.

Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- $\tau < \tau_y$ = zat padat
- $\tau > \tau_y$ = fluida Newton



Gambar 2.3 Distribusi Kecepatan *bingham plastic fluid* pada pipa

b) *Pseudoplastic* (plastic semu)

Pseudoplastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viskositasnya cenderung menurun tetapi *shear stress* dari fluida ini akan semakin meningkat, misalnya *vinil acetate/vinylpyrrolidone copolymer* (PVP/PA). Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < 1 \dots \dots \dots (2.6)$$

c) *Dilatant*

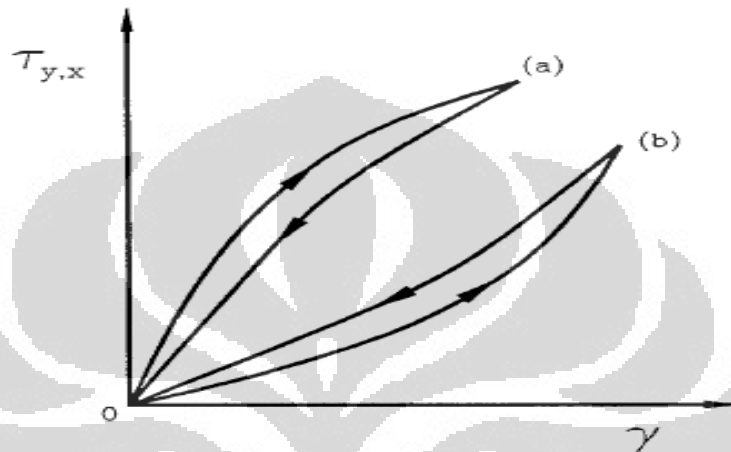
Dilatant adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viskositas dan *shear stress* dari fluida ini akan cenderung mengalami peningkatan, misalnya pasta. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (2.7)$$

d) Penggolongan lain

- *Thixotropic (shear thinning)*, fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viskositasnya akan menurun, misalnya cat, campuran tanah liat (clay), dan berbagai jenis gel.

- *Rheopectic (shear thickening)*, fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin besar, misalnya minyak pelumas dimana viskositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang akan bekerja padanya maka viskositasnya akan bertambah.



Gambar 2.4 Hubungan *shear stress* (τ) - *shear rate* (γ) pada *thixotropic* (a) dan *rheopectic* (b) yang tergantung pada waktu

Pada fluida *Non-Newtonian* secara umum hubungan tegangan geser (*shear stress*) dan gradient kecepatan (*shear rate*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n = K \gamma^n \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

K= Indeks konsistensi

τ = Tegangan geser

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \gamma = \text{Laju aliran}$$

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.4 Sifat-sifat Dasar Fluida

Cairan dan gas disebut fluida, sebab zat tersebut dapat mengalir. Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu; kerapatan (density), berat jenis (specific gravity), tekanan (pressure), kekentalan (viscosity).

2.4.1 Kerapatan (*density*)

Kerapatan atau *density* dinyatakan dengan ρ (ρ adalah huruf kecil Yunani yang dibaca “rho”), didefinisikan sebagai mass per satuan volume.

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana ρ = kerapatan (kg/m^3)
 m = massa benda (kg)
 v = volume (m^3)

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Satuan SI untuk kerapatan adalah kg/m^3 . Kadang kerapatan diberikan dalam g/cm^3 . Dengan catatan bahwa jika $kg/m^3 = 1000 g/(100 cm)^3$, kemudian kerapatan yang diberikan dalam g/cm^3 harus dikalikan dengan 1000 untuk memberikan hasil dalam kg/m^3 . Dengan demikian kerapatan air adalah $1,00 g/cm^3$, akan sama dengan $1000 kg/m^3$. Berbagai kerapatan bahan diunjukkan pada tabel 2.1. Dalam tabel 2.1 tersebut ditetapkan suhu dan tekanan karena besaran ini akan dipengaruhi kerapatan bahan (meskipun pengaruhnya kecil untuk zat cair).

Tabel 2.1 Berbagai kerapatan (density) bahan

Bahan	Kerapatan ρ ($kg m^{-3}$)
Cair	
Air pada suhu $4^{\circ}C$	1.00×10^3
Darah, plasma	1.03×10^3
Darah seluruhnya	1.05×10^3
Air laut	1.025×10^3
Raksa	13.6×10^3
Alkohol, alkyl	0.79×10^3
Bensin	0.68×10^3
Gas	
Udara	1.29
Helium	0.179
Karbon dioksida	1.98
Uap air pada suhu $100^{\circ}C$	0.598

Kerapatan ditetapkan pada suhu $0^{\circ}C$ dan tekanan 1 atm, kecuali ditentukan lain

2.4.2 Berat Jenis (*specific gravity*)

Berat jenis suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan bahan terhadap kerapatan air. Berat jenis (*specific gravity* disingkat SG) adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan, dinyatakan pada persamaan 2.12 dan 2.13 sebagai berikut :

$$\text{Untuk fluida cair } SG_c = \frac{\rho_c}{\rho_w} \left[\frac{kg/m^3}{kg/m^3} \right] \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Untuk fluida gas } SG_g = \frac{\rho_g}{\rho_a} \left[\frac{kg/m^3}{kg/m^3} \right] \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana ρ_c = massa jenis cairan (kg/m^3)

ρ_w = massa jenis air (kg/m^3)

ρ_g = massa jenis gas (kg/m^3)

ρ_a = massa jenis udara (kg/m^3)

2.4.3 Tekanan (*pressure*)

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A, maka :

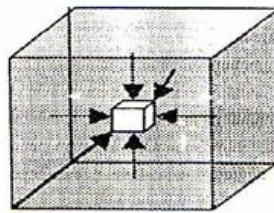
$$P = \frac{F}{A} \left[\frac{kg}{m^2} \right] \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana P = tekanan (kg/m^2); F = gaya (kg); A = luas permukaan (m^2)

Satuan tekanan dalam SI adalah N/m². Satuan ini mempunyai nama resmi Pascal (Pa), untuk penghormatan terhadap Blaise Pascal dipakai 1 Pa = 1 N/m². Namun untuk penyederhanaan, sering menggunakan N/m². Satuan lain yang digunakan adalah dyne/cm², lb/in², (kadang disingkat dengan “psi”), dan kg/cm² (apabila kilogram adalah gaya : yaitu, 1 kg/cm² = 10 N/cm²).

Konsep tekanan sangat berguna terutama dalam berurusan dengan fluida. Sebuah fakta eksperimental menunjukkan bahwa fluida menggunakan tekanan ke semua arah. Hal ini sangat dikenal oleh para perenang dan juga penyelam yang secara langsung merasakan tekanan air pada seluruh bagian tubuhnya. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Ini diilustrasikan dalam 2.5. Bayangan fluida dalam sebuah kubus kecil sehingga kita dapat mengabaikan gaya gravitasi yang bekerja padanya. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya

netto yang bekerja pada kubus ini tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini akan bergerak hingga tekanan yang bekerja menjadi sama.



Gambar 2.5 tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak

Tekanan dalam cairan yang mempunyai kerapatan seragam akan bervariasi terhadap kedalaman. Tekanan yang disebabkan oleh cairan pada kedalaman h ini disebabkan oleh berat kolom cairan di atasnya. Dengan demikian gaya yang bekerja pada luasan tersebut adalah $F = mg = \rho Ahg$, dengan Ah adalah volume kolom tersebut, ρ adalah kerapatan cairan (diasumsikan konstan), dan g adalah percepatan gravitasi. Kemudian tekanan P , adalah

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho g Ah}{A} \left[\frac{kg}{m^2} \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

$$P = \rho gh \left[\frac{kg}{m^2} \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan demikian, tekanan berbanding lurus dengan kerapatan cairan, dan kedalaman cairan tersebut. Secara umum, tekanan pada kedalaman yang sama dalam cairan yang seragam sama. Persamaan 2.13, berlaku untuk fluida yang kerapatannya konstan dan tidak berubah terhadap kedalaman – yaitu, jika fluida tersebut tak dapat dimampatkan (incompressible). Ini biasanya merupakan pendekatan yang baik untuk fluida (meskipun pada kedalaman yang sangat dalam didalam lautan, kerapatan air naik terutama akibat pemampatan yang disebabkan oleh berat air dalam jumlah besar di atasnya). Dilain pihak, gas dapat mampat, dan kerapatannya dapat bervariasi cukup besar terhadap perubahan kedalaman. Jika kerapatannya hanya bervariasi sangat kecil, persamaan 2.14 berikut dapat digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan Δp pada ketinggian yang berbeda dengan ρ adalah kerapatan rata-rata

$$\Delta P = \rho g \Delta h [mmHg] \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana :

Δp = perbedaan tekanan (mmHg)

ρ = kerapatan (kg/m^3)

g = gravitasi (m/det^2)

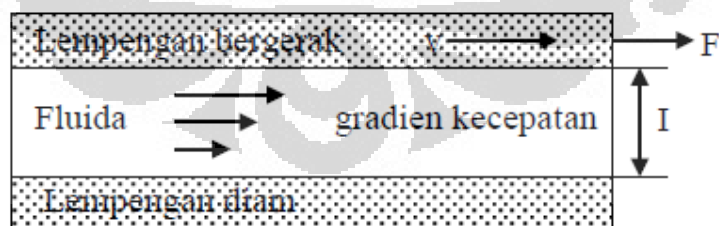
Δh = pertambahan kedalaman (m)

2.4.4 Kekentalan (*viscosity*)

Kekentalan (*viscosity*) didefinisikan sebagai gesekan internal atau gesekan fluida terhadap wadah dimana fluida itu mengalir. Ini ada dalam cairan atau gas, dan pada dasarnya adalah gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan ketika bergerak melintasi satu sama lain atau gesekan antara fluida dengan wadah tempat ia mengalir. Dalam cairan, kekentalan disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-molekulnya sedangkan gas, berasal tumbukan diantara molekul-molekul tersebut.

Kekentalan fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan, η yang didefinisikan dengan cara sebagai berikut :

Fluida diletakkan diantara dua lempengan datar. Salah satu lempengan diam dan yang lain dibuat bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing-masing lempengan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat diantara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Dengan demikian permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju v yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan dengan lempengan diam bertahan diam. Kecepatan bervariasi secara linear dari 0 hingga v seperti ditunjukkan gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penentuan kekentalan

Kenaikan kecepatan dibagi oleh jarak dengan perubahan ini dibuat – sama dengan v/I – disebut gradien kecepatan. Untuk menggerakkan lempengan diatas memerlukan gaya, yang dapat dibuktikan dengan menggerakkan lempengan datar melewati genangan fluida. Untuk fluida tertentu, diperoleh bahwa gaya sebagai berikut :

Universitas Indonesia

$$P = \frac{FL}{l} \left[\frac{kg}{m^2} \right] \dots\dots\dots (2.18)$$

Untuk fluida yang berbeda, fluida yang kental, diperlukan gaya yang lebih besar. Tetapan kesebandingan untuk persamaan ini didefinisikan sebagai koefisien kekentalan, η :

$$\eta = \frac{FL}{AV} [Pa.s] \dots\dots\dots (2.19)$$

dimana :

F = gaya (kg/m²)

A = luasan fluida yang bersinggungan dengan setiap lempengan (m²)

V = kecepatan fluida (m/detik²)

L = Jarak lempengannya (m²)

η = koefisien kekentalan (pa.s)

Penyelesaian untuk η , kita peroleh $\eta = FI/vA$. Satuan SI untuk η adalah N.s/m² = Pa.s (pascal.detik). Dalam sistem cgs, satuan ini adalah dyne.s/cm² dan satuan ini disebut poise (P). Kekentalan sering dinyatakan dalam centipoises (cP), yaitu 1/100 poise. Tabel 2.2 menunjukkan daftar koefisien kekentalan untuk berbagai fluida. Suhu juga dispesifikasikan, karena mempunyai efek yang berpengaruh dalam menyatakan kekentalan cairan ; kekentalan cairan seperti minyak motor, sebagai contohnya, menurun dengan cepat terhadap kenaikan suhu.

Tabel 2.2 Koefisien kekentalan untuk berbagai fluida

Fluida	Suhu	Koefisien kekentalan η (Pa.s)
Air	0	$1,8 \times 10^{-3}$
	20	$1,0 \times 10^{-3}$
	100	$0,3 \times 10^{-3}$
Darah seluruh tubuh	37	4×10^{-3}
Plasma darah	37	$1,5 \times 10^{-3}$
Alkohol ethyl	20	$1,2 \times 10^{-3}$
Mesin – mesin (SAE 10)	30	200×10^{-3}
Gliserin	20	1500×10^{-3}
Udara	20	$0,018 \times 10^{-3}$
Hidrogen	0	0.009×10^{-3}
Uap air	100	0.013×10^{-3}

1 Pa.s = 10 P = 1000 cP

2.5 Energi dan Head

2.5.1 Energi

Energi pada umumnya didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Kerja merupakan hasil pemanfaatan dari sebuah gaya yang melewati suatu jarak dan umumnya didefinisikan secara matematika sebagai hasil perkalian dari gaya dan jarak yang dilewati pada arah gaya yang diterapkan tersebut. Energi dan kerja dinyatakan dalam satuan N.m (Joule). Setiap fluida yang sedang bergerak selalu mempunyai energi. Dalam menganalisa masalah aliran fluida yang harus dipertimbangkan adalah mengenai energi potensial, energi kinetik dan energi tekanan.

Energi potensial menunjukkan energi yang dimiliki fluida dengan tempat jatuhnya. Energi potensial (E_p), dirumuskan sebagai :

$$E_p = W \cdot z \quad [J] \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

W = berat fluida (N)

z = beda ketinggian (m)

Energi kinetik menunjukkan energi yang dimiliki oleh fluida karena pengaruh kecepatan yang dimilikinya. Energi kinetik, dirumuskan sebagai :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad [J] \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

m = massa fluida (kg)

v = kecepatan aliran fluida (m/s)

Energi tekanan disebut juga dengan energi aliran adalah jumlah kerja yang dibutuhkan untuk memaksa elemen fluida bergerak menyilang pada jarak tertentu dan berlawanan dengan tekanan fluida. Besarnya energi tekanan (E_f), dirumuskan sebagai :

$$E_f = p \cdot A \cdot l \quad [J] \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

p = tekanan yang dialami oleh fluida (N/m^2)

A = luas penampang aliran (m^2)

L = panjang pipa (m)

Basarnya energi tekanan, dapat juga dirumuskan sebagai berikut :

$$E_F = \frac{pW}{\gamma} [J] \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana : γ = berat jenis fluida (N/m³)

Total energi yang terjadi merupakan penjumlahan dari ketiga macam energi diatas, dirumuskan sebagai :

$$E = Wz + \frac{1}{2} \cdot \frac{Wv^2}{g} + \frac{pW}{\gamma} [J] \dots \dots \dots (2.24)$$

Persamaan ini dapat dimodifikasi untuk menyatakan total energi dengan head (H) dengan membagi masing-masing variabel di sebelah kanan persamaan dengan W (berat fluida), dirumuskan sebagai :

$$H = z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} [J] \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana :

z = Head ketinggian

$v^2/2g$ = Head kecepatan

p/γ = Head tekanan

2.5.2 Persamaan Bernoulli

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan namun dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Energi yang ditunjukkan dari persamaan energi total di atas, atau dikenal sebagai head pada suatu titik dalam aliran steady adalah sama dengan total energi pada titik lain sepanjang aliran fluida tersebut. Hal ini berlaku selama tidak ada energi yang ditambahkan ke fluida atau yang diambil dari fluida.

Konsep ini dinyatakan ke dalam bentuk persamaan yang disebut dengan persamaan Bernoulli, yaitu :

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana :

p_1 dan p_2 = tekanan pada titik 1 dan 2

v_1 dan v_2 = kecepatan aliran pada titik 1 dan 2

z_1 dan z_2 = perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2

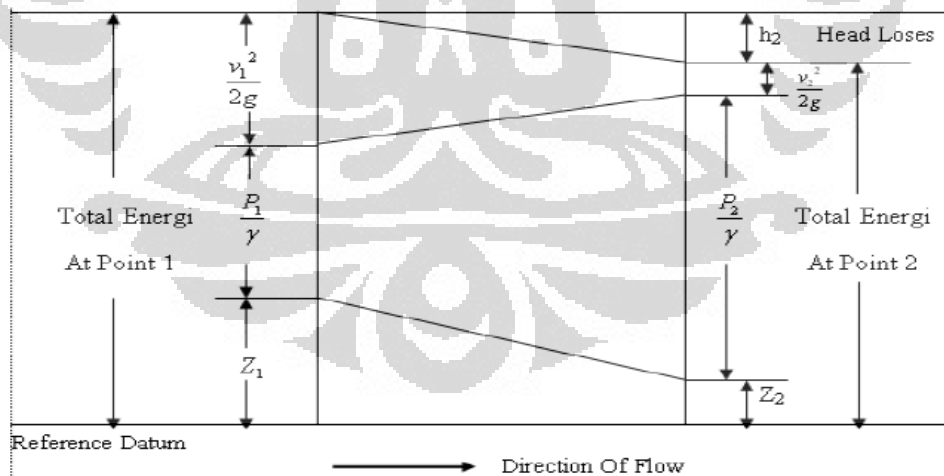
γ = berat jenis fluida

g = percepatan gravitasi = $9,8 \text{ m/s}^2$

Persamaan di atas digunakan jika diasumsikan tidak ada kehilangan energi antara dua titik yang terdapat dalam aliran fluida, namun biasanya beberapa head losses terjadi diantara dua titik. Jika head losses tidak diperhitungkan maka akan menjadi masalah dalam penerapannya di lapangan. Jika head losses dinotasikan dengan “hl” maka persamaan Bernoulli di atas dapat ditulis menjadi persamaan baru, dirumuskan sebagai :

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + hl \dots\dots\dots (2.27)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menyelesaikan banyak permasalahan tipe aliran, biasanya untuk fluida inkompresibel tanpa adanya penambahan panas atau energi yang diambil dari fluida. Namun, persamaan ini tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan aliran fluida yang mengalami penambahan energi untuk menggerakkan fluida oleh peralatan mekanik, misalnya pompa, turbin dan peralatan lainnya.



Gambar 2.7 Ilustrasi persamaan Bernoulli

2.6 Kerugian Head (Head Losses)

2.6.1 Kerugian Head Mayor

Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini 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 dua rumus berikut, yaitu :

a. Persamaan Darcy – Weisbach, yaitu :

$$h_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

h_f = kerugian head karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

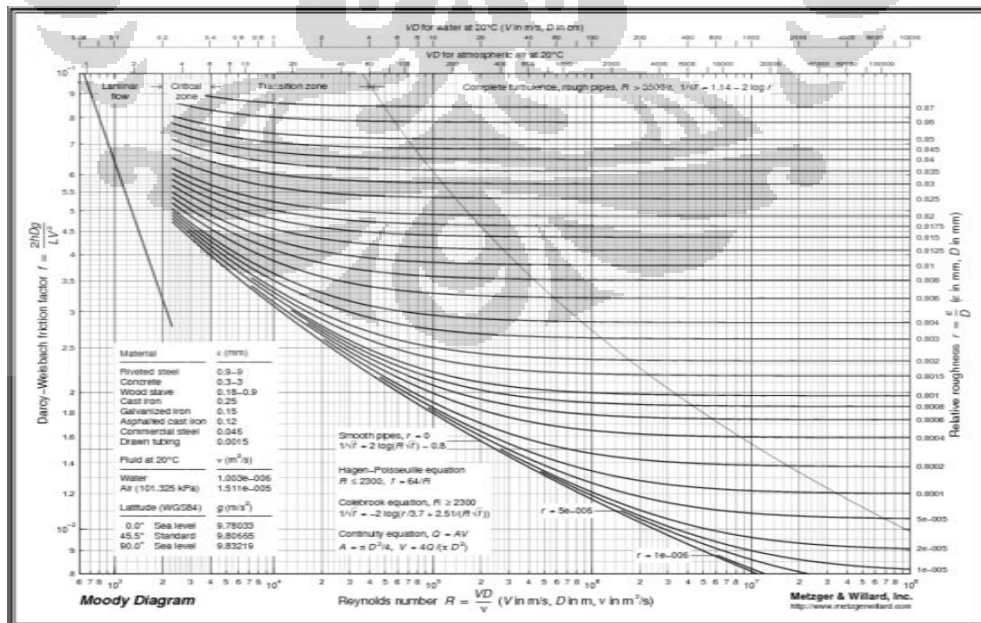
d = diameter dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran rata-rata fluida dalam pipa (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/ s²)

dimana faktor gesekan (f) dapat dicari dengan menggunakan diagram Moody



Gambar 2.8 Diagram Moody

Dimana nilai kekasaran untuk beberapa jenis pipa disajikan dalam tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai kekerasan dinding untuk berbagai pipa komersil

Pipe	Equivalent Roughness, ϵ	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

a. Persamaan Hazen – Williams

Rumus ini pada umumnya dipakai untuk menghitung kerugian head dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa penyalur air minum. Bentuk umum persamaan Hazen – Williams, menurut [15] yaitu :

$$hf = \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85}d^{4,85}} L \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

hf = kerugian gesekan dalam pipa (m)

Q = laju aliran dalam pipa (m³/s)

L = panjang pipa (m)

C = koefisien kekasaran pipa Hazen – Williams

d = diameter dalam pipa (m)

Diagram Moody telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida di dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy – Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynold kurang dari 2000, faktor gesekan dihubungkan dengan bilangan Reynold, menurut [16] dinyatakan dengan rumus :

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.30)$$

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000, maka hubungan antara bilangan Reynold, faktor gesekan dan kekasaran relatif menjadi

lebih kompleks. Faktor gesekan untuk aliran turbulen dalam pipa didapatkan dari hasil eksperimen, antara lain :

- a. Untuk daerah complete roughness, rough pipes yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0 \log \left(\frac{3,7}{\varepsilon/d} \right) \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana :

f = faktor gesekan

ε = kekasaran (m)

- b. Untuk pipa sangat halus seperti glass dan plastik, hubungan antara bilangan Reynold dan faktor gesekan, dirumuskan sebagai :

- ❖ Blassius, untuk $Re = 3000 - 100.000$

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots \dots \dots (2.32)$$

- ❖ Von Karman, Untuk Re sampai dengan 3.10^6 .

$$\frac{1}{f} = 2,0 \log \left(\frac{Re\sqrt{f}}{2,51} \right) \dots \dots \dots (2.33)$$

$$\frac{1}{f} = 2,0 \log(Re\sqrt{f}) - 0,8 \dots \dots \dots (2.34)$$

- ❖ Untuk pipa kasar, menurut Von Karman yaitu :

$$\frac{1}{f} = 2,0 \log \frac{d}{\varepsilon} + 1,74 \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana harga f tidak tergantung pada bilangan Reynold.

- ❖ Untuk pipa antara kasar dan halus atau dikenal dengan daerah transisi, menurut Corelbrook – White yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left[\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right] \dots \dots \dots (2.36)$$

2.6.2 Kerugian Head Minor

Selain kerugian yang disebabkan oleh gesekan, pada suatu jalur pipa juga terjadi kerugian karena kelengkapan pipa seperti belokan, siku, sambungan, katup dan sebagainya yang disebut dengan kerugian kecil (minor losses). Besarnya kerugian minor akibat adanya kelengkapan pipa, dirumuskan sebagai :

$$hm = \Sigma n \cdot k \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana :

n = jumlah kelengkapan pipa

k = koefisien kerugian (dari lampiran koefisien minor losses peralatan pipa)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa.

untuk pipa yang panjang ($L/d \gg 1000$), minor losses dapat diabaikan tanpa kesalahan yang cukup berarti tetapi menjadi penting pada pipa yang pendek.

2.7 Aliran Laminar dan Turbulen

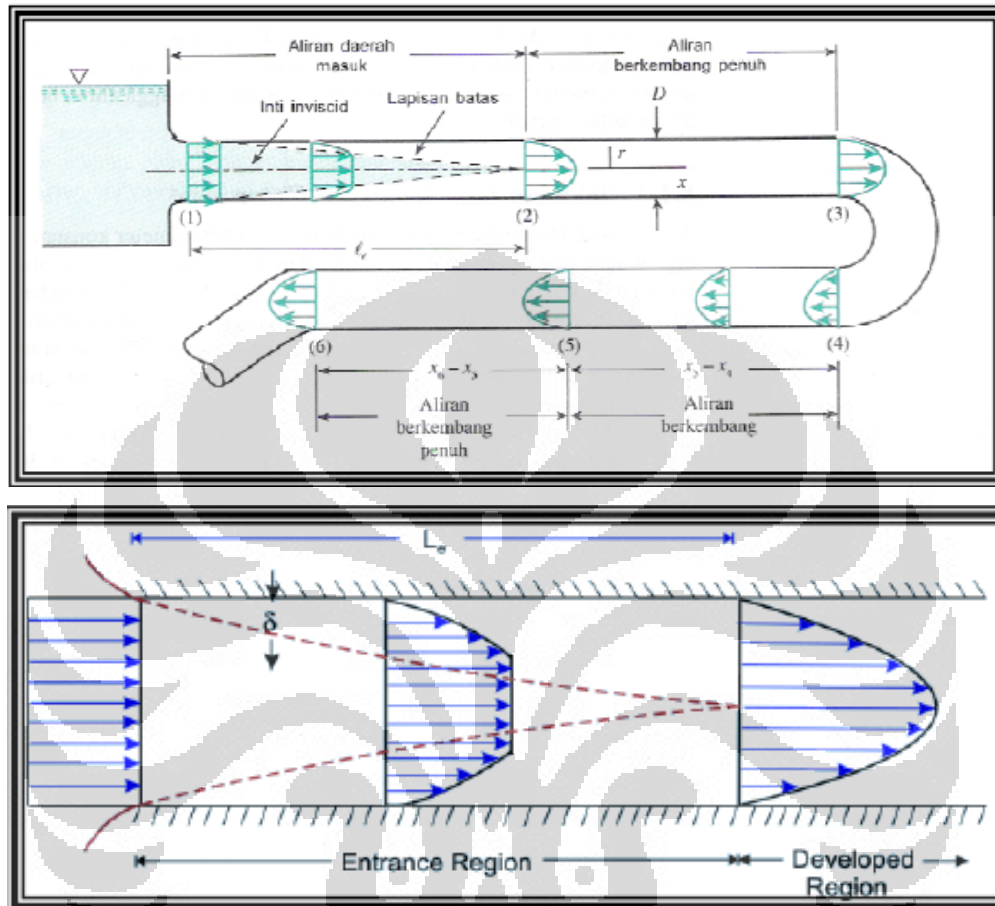
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan.

Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampuan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti pusaran-pusaran besar yang berada di sungai atau hampasan udara. Pusaran-pusaran besar membangkitkan pusaran-pusaran yang kecil yang pada gilirannya menciptakan turbulensi berskala kecil. Aliran turbulen berskala kecil mempunyai fluktuasi-fluktuasi kecil kecepatan yang terjadi dengan frekuensi yang tinggi. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds.

Ketika aliran melewati awal ujung pipa, distribusi kecepatan didalam pipa mempunyai bentuk yang tidak teratur yang disebut aliran sedang berkembang. Kondisi ini akan semakin berubah seiring bertambahnya panjang dari inlet. Distribusi kecepatan yang terjadi masing mengalami perubahan bentuk kontur. Setelah aliran mengalami fully developed flow atau berkembang penuh, maka

Universitas Indonesia

distribusi kecepatan akan seragam untuk jarak dari inlet semakin panjang. Untuk aliran laminar, panjang hidrodinamik untuk mencapai keadaan fully developed flow adalah kurang lebih 120 kali diameter dalam pipa.



Gambar 2.9 Perilaku aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa koefisien gesekan untuk pipa silindris merupakan fungsi dari bilangan Reynold (Re). Dalam menganalisa aliran di dalam saluran tertutup, sangatlah penting untuk mengetahui tipe aliran yang mengalir dalam pipa tersebut. Untuk itu harus dihitung besarnya bilangan Reynold dengan mengetahui parameter-parameter yang diketahui besarnya. Besarnya Reynold (Re), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana :

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

d = diameter dalam pipa (m)

v = kecepatan aliran rata-rata fluida (m/s)

μ = viskositas dinamik fluida (Pa.s)

Karena viskositas dinamik dibagi dengan massa jenis fluida merupakan viskositas kinematik (ν) maka bilangan Reynold, dapat juga dinyatakan :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{sehingga} \quad Re = \frac{dv}{\nu} \dots\dots\dots (2.39)$$

Aliran akan laminar jika bilangan Reynold kurang dari 2000 dan akan turbulen jika bilangan Reynold lebih besar dari 4000. Jika bilangan Reynold terletak antara 2000 – 4000 maka disebut aliran transisi.

2.8 Lokasi Peletakan Lubang (Tap) Beda Tekanan

Dalam pengambilan beda tekanan, lokasi lubang-lubang pengambilan beda tekanan dalam pengukuran besaran aliran fluida sangat penting baik dalam lubang sebelum alat ukur maupun sesudah alat ukur. Untuk pengukuran cairan, penumpukan sisa-sisa dari gas atau uap pada sambungan-sambungan antara pipa dan alat pengukur harus dihindari. Hal ini bertujuan agar pengukuran tidak meleset dan stabil. Maka lubang pengambilan beda tekanan pada umumnya ditempatkan pada bidang horizontal dari garis tengah pipa. Sama halnya untuk pengukuran gas, penumpukan sisa-sisa dari cairan atau uap harus dihindari, untuk itu lubang-lubang pengambilan beda tekanan biasanya ditempatkan pada bagian atas pipa. Tekanan awal dan akhir dari plat orifice akan sangat berbeda oleh jarak dari plat orifice. Oleh karena itu standart dari penentuan jarak ini tergantung dari pipa yang digunakan. Terlepas dari apakah orifice dipergunakan untuk pengukuran cairan, gas atau uap maka lokasi pengambilan beda tekanan untuk pengukuran dibagi dalam empat bentuk yaitu :

1. Flange Taps
2. Vena Contracta Taps
3. Pipe Taps
4. Corner Taps

2.8.1 Flange Taps

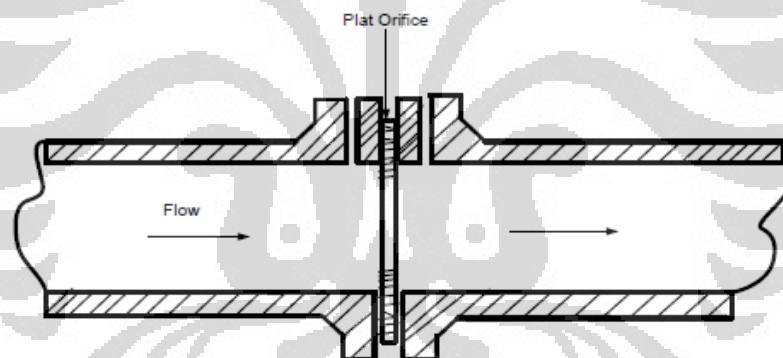
Pada *flange taps* dapat diketahui bahwa jarak masing-masing lubang pengambilan beda tekanan terhadap plat orifice adalah satu inchi taps. Pada *flange*

Universitas Indonesia

taps ini lubang-lubang pengambilan beda tekanannya terhadap *flange taps* itu sendiri. *Flange taps* pada umumnya dipergunakan untuk pipa-pipa yang berdiameter dua inchi ke atas. Di bawah dari ukuran dua inchi, *flange taps* tidak dapat dipergunakan karena membuat pengukuran meleset dan tidak stabil. Untuk flange taps yang tapsnya terletak di flensanya dapat berubah jika flensanya terlalu tebal dimana ditempatkan jauh dari plat orifice. Jenis *Flange taps* dapat dilihat pada Gambar 2.9. Bagian sisi dari plat orifice ini dipertahankan diantara flense dan dibuat setipis mungkin dan jarak tertentu dari orifice. Ketebalan plat orifice untuk flange taps dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.4 Ketebalan Maksimum Flat Orifice untuk Flange Taps

Diameter Pipa (mm)	Ketebalan Plat Orifice (mm)
Kurang dari 100	1,5 ~ 3,0
100 – 200	3,0 ~ 6,0
Lebih dari 200	6,0 ~ 12,0



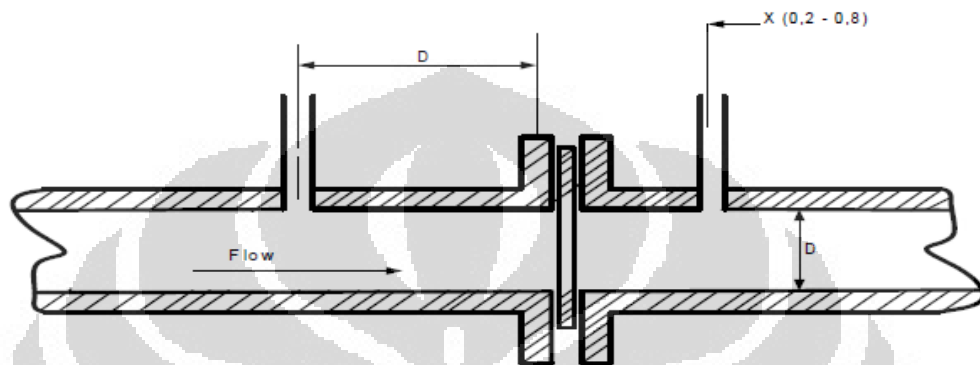
Gambar 2.10 Flange Taps

2.8.2 Vena Contracta Taps

Pada *vena contracta taps*, jarak lubang-lubang pengambilan beda tekanan ditempatkan berbeda dari sisi awal plat orifice dan akhir plat orifice. Pada lubang-lubang up-stream orifice atau lubang awal jarak penempatan dari lubangnya terhadap plat orifice itu sendiri adalah sama dengan besar diameter dari pipa aliran yang digunakan. Sedangkan untuk lubang *down stream orifice* atau lubang sesudah plat orifice ditempatkan pada titik dimana tekanan terendah dari aliran ditemukan. Penggunaan *vena contracta taps* pada umumnya untuk pipa ukuran enam inchi yang dapat dilihat pada Gambar 2.10. Untuk pipa yang

Universitas Indonesia

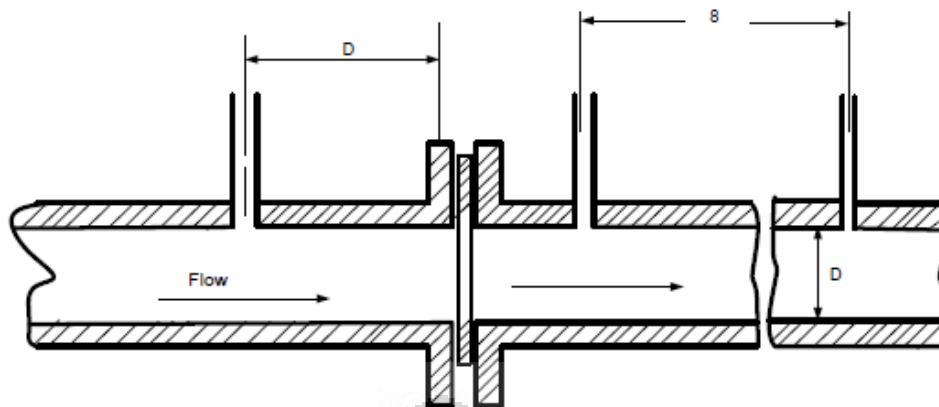
berdimater lebih dari enam inchi, umumnya dipergunakan tipe radius taps. Radius Taps adalah jenis dari *vena contracta taps*. Perbedaan kedua jenis plat orifice ini terletak pada penempatan lubang-lubang *down stream* atau lubang sesudah plat orifice ini. sedangkan untuk lubang *upstreamnya* adalah sama. Untuk radius taps, lubang *down-stream* ditempatkan pada jarak 1,5 dari diameter pipa aliran yang diukur dari sisi *down-stream*.



Gambar 2.11 Vena Contracta Taps

2.8.3 Pipe Taps

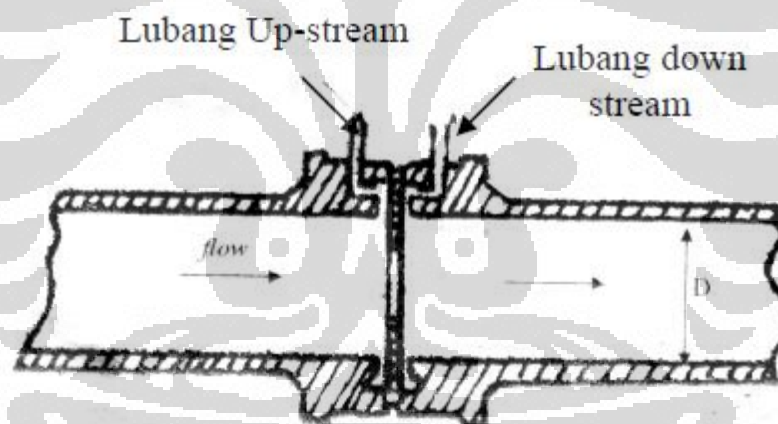
Pada tipe pipe taps ini, lubang-lubang pengambilan beda tekanan berbeda antara lubang *up-stream orifice* dengan lubang *down stream*. Beda lubang *up-stream* ditempatkan pada jarak 2,5 kali dari besar diameter pipa aliran yang digunakan yang diukur dari sisi *up-stream orifice*. Sedangkan pada lubang *down-stream orifice* ditempatkan pada jarak delapan kali dari diameter pipa aliran yang digunakan diukur dari sisi *down-stream orifice*, dapat dilihat pada Gambar 2.11. Pipa tapsnya dipergunakan bilamana vena contracta tidak dapat dipergunakan pada pipa aliran yang dipergunakan.



Gambar 2.12 Pipe Taps

2.8.4 Corner Taps

Corner Taps atau taps sudut hampir sama dengan *flange taps*, dimana titik pengambilan beda tekanannya pada *corner taps* adalah pada sudut-sudut antara *plate orifice* dengan dinding pipa aliran, dapat dilihat pada Gambar 2.11. *Corner taps* hanya dipergunakan untuk pipa di bawah ukuran dua inchi.



Gambar 2.13 Corner Taps

BAB 3

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Rancangan Alat Uji

Pada penelitian ini alat uji dirancang sendiri berdasarkan dasar teori dan pengalaman dari dosen pembimbing. Alat uji ini dirancang sebagai alat uji dengan skala laboratorium, yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukkan untuk penelitian dan pengambilan data dari sampel fluida yang akan dilakukan penelitian.

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana alat uji adalah sebuah pipa akrilik dengan panjang pipa 2 m, diameter luar (\O out) 12 mm, dan diameter dalam (\O in) 8 mm. Pipa ini dihubungkan dengan pompa, dimana pompa digunakan untuk menyedot air yang ada didalam tangki untuk dialirkan dalam pipa akrilik. Pada alat uji dipasang tiga buah manometer, dimana manometer pertama terpasang pada jarak $30xD\text{-in}$, manometer kedua $120xD\text{-in}$ dan manometer ketiga terpasang 20 cm dari ujung keluaran pipa.



Gambar 3.1 Instalasi alat uji pipa bulat

3.2 Peralatan Pendukung

Pada alat uji ini terdapat beberapa komponen yang digunakan antara lain :

3.2.1 Pompa Sentrifugal

Pompa adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus.

Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.

Salah satu jenis pompa pemindah non positif adalah pompa sentrifugal yang prinsip kerjanya mengubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu impeller yang berputar dalam casing.

Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa Sentrifugal dapat diklasifikasikan, berdasarkan :

1. Kapasitas :

Kapasitas rendah	< 20 m ³ / jam
Kapasitas menengah	20 -:- 60 m ³ / jam
Kapasitas tinggi	> 60 m ³ / jam

2. Tekanan Discharge :

Tekanan Rendah	< 5 Kg / cm ²
Tekanan menengah	5 -:- 50 Kg / cm ²
Tekanan tinggi	> 50 Kg / cm ²

3. Jumlah / Susunan Impeller dan Tingkat :

Single stage	: Terdiri dari satu impeller dan satu casing
Multi stage	: Terdiri dari beberapa impeller yang tersusun seri dalam satu casing.
Multi Impeller	: Terdiri dari beberapa impeller yang tersusun paralel dalam satu casing.

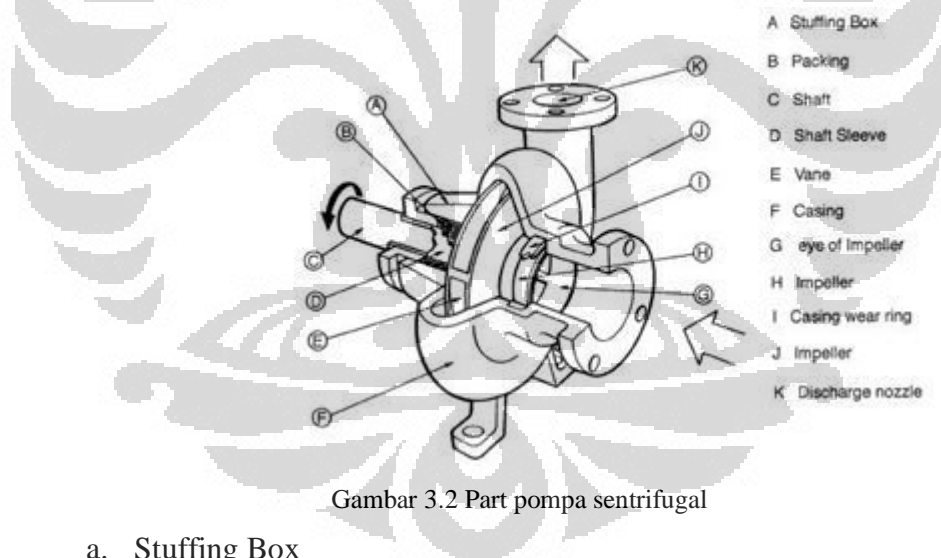
Multi Impeller dan Multi stage : Kombinasi multi impeller dan multi

stage.

4. Posisi Poros :
 - Poros tegak
 - Poros mendatar
5. Jumlah Suction :
 - Single Suction
 - Double Suction
6. Arah aliran keluar impeller :
 - Radial flow
 - Axial flow
 - Mixed flow

Bagian-bagian Utama Pompa Sentrifugal

Secara umum bagian-bagian utama pompa sentrifugal dapat dilihat seperti gambar berikut :



Gambar 3.2 Part pompa sentrifugal

a. Stuffing Box

Stuffing Box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus casing.

b. Packing

Digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari casing pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.

c. Shaft (poros)

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan impeller dan bagian-bagian berputar lainnya.

d. Shaft sleeve

Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada stuffing box. Pada pompa multi stage dapat sebagai leakage joint, internal bearing dan interstage atau distance sleeve.

e. Vane

Sudu dari impeller sebagai tempat berlalunya cairan pada impeller.

f. Casing

Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffusor (guide vane), inlet dan outlet nozel serta tempat memberikan arah aliran dari impeller dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (single stage).

g. Eye of Impeller

Bagian sisi masuk pada arah isap impeller.

h. Impeller

Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

i. Wearing Ring

Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan impeller maupun bagian belakang impeller, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan impeller.

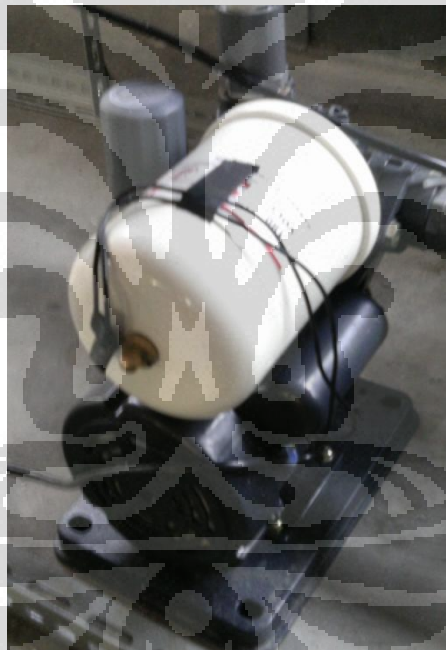
j. Bearing

Bearing (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. Bearing juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.

k. Casing

Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffusor (guide vane), inlet dan outlet nozel serta tempat memberikan arah aliran dari impeller dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (single stage).

Pompa yang digunakan sebagai alat uji ini adalah pompa sentrifugal dengan putaran motor sebesar 2850 rpm dengan kapasitas maksimal pompa sebesar 35 L/menit dimana pompa ini memiliki suction head sejauh 25 m dengan section lift sebesar 9 m. Daya yang dibutuhkan sebesar 125 watt dengan aliran listrik satu fasa.



Gambar 3.3 Pompa Sentrifugal

3.2.2 Tangki Air

Tangki air berfungsi untuk menampung fluida yang akan di uji. Fluida yang mengalir melalui pipa saluran akan kembali ke tangki melalui keluaran pipa.



Gambar 3.4. Tangki Air

3.2.3 Valve/Katup

Valve/Katup ini digunakan untuk mengatur jumlah debit yang mengalir. Jenis valve yang digunakan adalah Ball valve. Tujuannya agar dapat diatur variasi pembukaan yang sangat banyak, pada valve ini terdapat busur derajat yang fungsinya untuk menentukan berapa derajat pembukaan dari valve tersebut.



Gambar 3.5 Valve dengan busur derajat

3.2.4 Manometer

Manometer digunakan untuk mengukur beda tekanan yang terjadi antara dua titik tekanan pada pipa penguji. Dimana fluida yang mengalir dalam pipa akan mengalir keatas dari manometer ini, dan dari ketinggian fluida tersebut dapat dihitung tekanan yang terjadi pada titik di pipa tersebut.

3.2.5 Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur dari fluida yang dialirkan dalam alat uji. Pada percobaan ini digunakan termometer air raksa.

Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu. Istilah termometer berasal dari bahasa latin *thermo* yang berarti bahang dan *meter* yang berarti untuk mengukur.

Jenis-jenis termometer

a. Termometer Raksa

Termometer yang pipa kacanya diisi dengan raksa disebut termometer raksa. Termometer raksa dengan skala celcius adalah termometer yang umum dijumpai dalam keseharian.

❖ Keuntungan

- Raksa mudah dilihat karena mengkilap.
- Volume raksa berubah secara teratur ketika terjadi perubahan suhu.
- Raksa tidak membasahi kaca ketika memuai atau menyusut.
- Jangkauan suhu raksa cukup lebar dan sesuai untuk pekerjaan laboratorium (-40 derajat Celcius s/d 350 derajat Celcius)
- Raksa dapat terpanasi secara merata sehingga menunjukkan suhu cepat dan tepat.

❖ Kerugian

- Raksa mahal
- Raksa tidak dapat digunakan untuk mengukur suhu yang sangat rendah (misalnya suhu di kutub utara dan kutub selatan)
- Raksa termasuk zat berbahaya (sering digunakan “air keras”) sehingga termometer raksa berbahaya jika tabungnya pecah.

b. Termometer Alkohol

❖ Keuntungan

- Alkohol lebih murah dibandingkan raksa
- Alkohol terliiti, karena untuk kenaikan suhu yang kecil, alkohol mengalami perubahan volum yang besar.

Universitas Indonesia

- Alkohol dapat mengukur suhu yang sangat dingin (misalnya suhu di daerah kutub) karena titik beku alkohol sangat rendah yaitu -112 derajat celcius.
- ❖ Kerugian
 - Alkohol memiliki titik didih rendah yaitu 78 derajat Celcius sehingga pemakaiannya terbatas (antara lain tidak dapat mengukur suhu air ketika mendidih).
 - Alkohol tidak berwarna, sehingga harus diberi warna terlebih dahulu agar mudah dilihat .
 - Alkohol membasahi (melekat) pada dinding kaca.



Gambar 3.6 Termometer Air Raksa

3.2.6 Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume fluida yang keluar dari pipa uji dalam waktu tertentu.



Gambar 3.7 Gelas Ukur

3.2.7 Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk menghitung berapa waktu yang diperlukan oleh sebuah fluida untuk memenuhi suatu volume tertentu.



Gambar 3.8 Stopwatch

3.2.8 Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur massa dari fluida yang ditampung pada gelas ukur. timbangan yang digunakan pada pengujian ini adalah timbangan digital.



Gambar 3.9 Timbangan Digital

3.2.9 Pipa Penyalur

Pipa ini terdiri dari pipa PVC dengan ukuran 1 inci. Dimana pipa ini diinstalasi sesuai gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing.

3.3 Prosedur Pengambilan Data

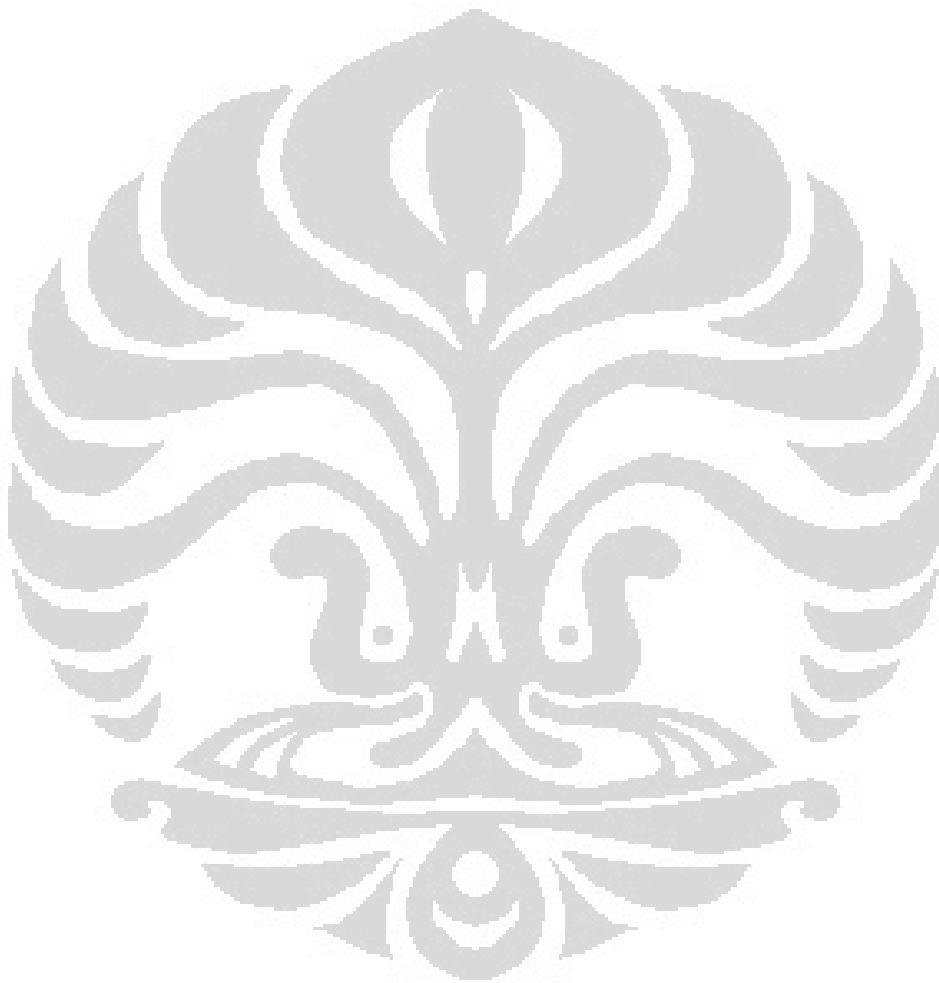
Pengujian dilakukan dengan fluida kerja yang digunakan adalah air murni.

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mengisi tanki dengan fluida air murni.
2. Memasang termometer pada tanki untuk mengetahui temperatur fluida.
3. Membuka semua katup yang ada agar fluida bisa mengalir dan mencapai keadaan stabil.
4. Menghidupkan pompa, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran hingga alirannya stabil.
5. Melihat temperatur pada termometer yang dipasang pada tanki.
6. Mengatur bukaan katup sehingga aliran keluar fluida menjadi sangat pelan dan melihat perbedaan ketinggian pada manometer pertama, manometer kedua dan manometer ketiga.
7. Mengukur debit aliran dengan cara menampung fluida yang mengalir keluar dari pipa uji ke dalam tanki menggunakan gelas ukur dalam volume tertentu selama waktu tertentu.
8. Menimbang massa fluida untuk mengetahui massa jenis dari fluida tersebut dengan menggunakan timbangan digital.

Universitas Indonesia

9. Melakukan langkah ke-5 sampai langkah ke-8 dengan pembukaan katup utama diperbesar sampai dengan pembukaan penuh.
10. Mencatat semua hasil yang didapat untuk melakukan pengolahan data serta analisis hasil.



BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Data

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa perbedaan ketinggian manometer (Δh), volume fluida, waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu, massa dari fluida, dan temperature fluida. Dari perbedaan ketinggian nantinya didapat perbedaan tekanan (ΔP), dari volume dan waktu nantinya didapat debit aliran dan kecepatan aliran fluida, dari massa yang ditimbang didapat massa jenis fluida. Dari temperature fluida didapat viskositas dari fluida tersebut. Dari data-data yang ada nantinya digunakan untuk menghitung friksi yang terjadi dan Bilangan Reynolds.

4.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan

Perhitungan perbedaan tekanan (ΔP) dari data perbedaan ketinggian (Δh) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan mm.

Tabel 4.1 Data perbedaan ketinggian manometer

bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	Δh_{13} (mm)	Δh_{13} (m)	Δh_{23} (mm)	Δh_{23} (m)
1	79	78	76	3	0.003	2	0.002
2	256	253	251	5	0.005	2	0.002
3	418	415	412	6	0.006	3	0.003
4	571	567	564	7	0.007	3	0.003
5	712	709	705	7	0.007	4	0.004
6	846	842	838	8	0.008	4	0.004
7	972	966	962	10	0.010	4	0.004
8	1086	1079	1074	12	0.012	5	0.005
9	1194	1187	1180	14	0.014	7	0.007
10	1298	1286	1274	24	0.024	12	0.012
11	1394	1377	1360	34	0.034	17	0.017
12	1481	1455	1433	48	0.048	22	0.022
13	1573	1530	1495	78	0.078	35	0.035
14	1651	1598	1550	101	0.101	48	0.048
15	1786	1690	1591	195	0.195	99	0.099
16	1879	1758	1629	250	0.250	129	0.129
17	1994	1829	1658	336	0.336	171	0.171
18	2094	1894	1679	415	0.415	215	0.215

Universitas Indonesia

19	2150	1936	1696	454	0.454	240	0.240
20	2227	1980	1709	518	0.518	271	0.271
21	2255	2002	1719	536	0.536	283	0.283
22	2346	2051	1727	619	0.619	324	0.324
23	2469	2123	1733	736	0.736	390	0.390
24	2643	2207	1737	906	0.906	470	0.470
25	2793	2294	1740	1053	1.053	554	0.554
26	2946	2364	1742	1204	1.204	622	0.622
27	3006	2416	1743	1263	1.263	673	0.673

Dengan :

h_1 = ketinggian manometer pertama

h_2 = ketinggian manometer kedua

h_3 = ketinggian manometer ketiga

Δh_{13} = beda ketinggian antara manometer pertama dengan ketiga

Δh_{23} = beda ketinggian antara manometer kedua dengan ketiga

Dari perbedaan ketinggian (Δh) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan 2.17. dimana :

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ karena fluidanya air murni

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Tabel 4.2 Data perbedaan tekanan

bukaan katup	Δh_{13} (mm)	Δh_{13} (m)	Δh_{23} (mm)	Δh_{23} (m)	ΔP_{13} (Pa)	ΔP_{23} (Pa)
1	3	0.003	2	0.002	29.43	19.62
2	5	0.005	2	0.002	49.05	19.62
3	6	0.006	3	0.003	58.86	29.43
4	7	0.007	3	0.003	68.67	29.43
5	7	0.007	4	0.004	68.67	39.24
6	8	0.008	4	0.004	78.48	39.24
7	10	0.010	4	0.004	98.10	39.24
8	12	0.012	5	0.005	117.72	49.05
9	14	0.014	7	0.007	137.34	68.67
10	24	0.024	12	0.012	235.44	117.72
11	34	0.034	17	0.017	333.54	166.77
12	48	0.048	22	0.022	470.88	215.82
13	78	0.078	35	0.035	765.18	343.35
14	101	0.101	48	0.048	990.81	470.88
15	195	0.195	99	0.099	1912.95	971.19
16	250	0.250	129	0.129	2452.50	1265.49
17	336	0.336	171	0.171	3296.16	1677.51

Universitas Indonesia

18	415	0.415	215	0.215	4071.15	2109.15
19	454	0.454	240	0.240	4453.74	2354.40
20	518	0.518	271	0.271	5081.58	2658.51
21	536	0.536	283	0.283	5258.16	2776.23
22	619	0.619	324	0.324	6072.39	3178.44
23	736	0.736	390	0.390	7220.16	3825.90
24	906	0.906	470	0.470	8887.86	4610.70
25	1053	1.053	554	0.554	10329.93	5434.74
26	1204	1.204	622	0.622	11811.24	6101.82
27	1263	1.263	673	0.673	12390.03	6602.13

4.1.2 Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida

Kita mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan s, dan volume yang didapat dari percobaan dalam satuan ml.

Tabel 4.3 Data debit aliran

bukaan katup	t (s)	Vol (ml)	Vol (L)	Vol (m ³)	Q (m ³ /s)
1	10.11	22	0.022	0.00002	0.000002
2	10.16	30	0.030	0.00003	0.000003
3	10.05	37	0.037	0.00004	0.000004
4	10.31	41	0.041	0.00004	0.000004
5	10.13	45	0.045	0.00005	0.000004
6	10.24	50	0.050	0.00005	0.000005
7	10.36	63	0.063	0.00006	0.000006
8	10.45	80	0.080	0.00008	0.000008
9	10.12	96	0.096	0.00010	0.000009
10	10.35	112	0.112	0.00011	0.000011
11	10.26	126	0.126	0.00013	0.000012
12	10.15	142	0.142	0.00014	0.000014
13	10.34	189	0.189	0.00019	0.000018
14	10.20	224	0.224	0.00022	0.000022
15	10.03	342	0.342	0.00034	0.000034
16	10.06	410	0.410	0.00041	0.000041
17	10.19	471	0.471	0.00047	0.000046
18	10.31	526	0.526	0.00053	0.000051
19	10.15	569	0.569	0.00057	0.000056
20	10.34	634	0.634	0.00063	0.000061
21	10.19	676	0.676	0.00068	0.000066

Universitas Indonesia

22	10.06	712	0.712	0.00071	0.000071
23	10.27	793	0.793	0.00079	0.000077
24	10.22	894	0.894	0.00089	0.000087
25	10.14	982	0.982	0.00098	0.000097
26	10.10	1041	1.041	0.00104	0.000103
27	10.36	1124	1.124	0.00112	0.000108

Dengan :

t = waktu (s)

vol = volume (ml)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan 2.2

Untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida(u) kita menggunakan rumus 2.

3, dimana V/u didapat setelah kita mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.4 Data kecepatan aliran

bukaan katup	d-in (m)	A Pipa (m ²)	Q (m ³ /s)	u (m/s)
1	0.008	0.00005024	0.000002	0.043
2	0.008	0.00005024	0.000003	0.059
3	0.008	0.00005024	0.000004	0.073
4	0.008	0.00005024	0.000004	0.079
5	0.008	0.00005024	0.000004	0.088
6	0.008	0.00005024	0.000005	0.097
7	0.008	0.00005024	0.000006	0.121
8	0.008	0.00005024	0.000008	0.152
9	0.008	0.00005024	0.000009	0.189
10	0.008	0.00005024	0.000011	0.215
11	0.008	0.00005024	0.000012	0.244
12	0.008	0.00005024	0.000014	0.278
13	0.008	0.00005024	0.000018	0.364
14	0.008	0.00005024	0.000022	0.437
15	0.008	0.00005024	0.000034	0.679
16	0.008	0.00005024	0.000041	0.811
17	0.008	0.00005024	0.000046	0.920
18	0.008	0.00005024	0.000051	1.015
19	0.008	0.00005024	0.000056	1.116
20	0.008	0.00005024	0.000061	1.220
21	0.008	0.00005024	0.000066	1.320
22	0.008	0.00005024	0.000071	1.409
23	0.008	0.00005024	0.000077	1.537
24	0.008	0.00005024	0.000087	1.741
25	0.008	0.00005024	0.000097	1.928

Universitas Indonesia

26	0.008	0.00005024	0.000103	2.052
27	0.008	0.00005024	0.000108	2.160

Dengan :

d_{in} = Diameter dalam pipa (m) dimana diameter pipa yang digunakan adalah 8 Mm

A = Luas penampang pipa (m^2) didapat dari persamaan $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

u/v = Kecepatan aliran fluida (m/s^2)

4.1.3 Perhitungan Friksi

Friksi yang terjadi pada pipa kita bisa hitung dari persamaan Darcy dan Weisbach, persamaan 2.28. dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (Δh), jarak antara manometer (L), kecepatan aliran (u/V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter pipa (d)

Tabel 4.5 Data friksi aliran fluida

bukaan katup	Δh_{1-3} (m)	Δh_{2-3} (m)	D_{in} (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	u (m/s)	f_{13}	f_{23}
1	0.003	0.002	0.008	1.56	0.84	0.043	0.1770	0.1594
2	0.005	0.002	0.008	1.56	0.84	0.059	0.1456	0.1347
3	0.006	0.003	0.008	1.56	0.84	0.073	0.1124	0.1044
4	0.007	0.003	0.008	1.56	0.84	0.079	0.1124	0.0954
5	0.007	0.004	0.008	1.56	0.84	0.088	0.0939	0.0860
6	0.008	0.004	0.008	1.56	0.84	0.097	0.0852	0.0752
7	0.010	0.004	0.008	1.56	0.84	0.121	0.0687	0.0568
8	0.012	0.005	0.008	1.56	0.84	0.152	0.0520	0.0442
9	0.014	0.007	0.008	1.56	0.84	0.189	0.0395	0.0358
10	0.024	0.012	0.008	1.56	0.84	0.215	0.0520	0.0466
11	0.034	0.017	0.008	1.56	0.84	0.244	0.0573	0.0532
12	0.048	0.022	0.008	1.56	0.84	0.278	0.0623	0.0530
13	0.078	0.035	0.008	1.56	0.84	0.364	0.0593	0.0494
14	0.101	0.048	0.008	1.56	0.84	0.437	0.0532	0.0469
15	0.195	0.099	0.008	1.56	0.84	0.679	0.0426	0.0402
16	0.250	0.129	0.008	1.56	0.84	0.811	0.0382	0.0366
17	0.336	0.171	0.008	1.56	0.84	0.920	0.0399	0.0377
18	0.415	0.215	0.008	1.56	0.84	1.015	0.0405	0.0390
19	0.454	0.240	0.008	1.56	0.84	1.116	0.0367	0.0360
20	0.518	0.271	0.008	1.56	0.84	1.220	0.0350	0.0340
21	0.536	0.283	0.008	1.56	0.84	1.320	0.0309	0.0303
22	0.619	0.324	0.008	1.56	0.84	1.409	0.0314	0.0305
23	0.736	0.390	0.008	1.56	0.84	1.537	0.0313	0.0309

Universitas Indonesia

24	0.906	0.470	0.008	1.56	0.84	1.741	0.0301	0.0290
25	1.053	0.554	0.008	1.56	0.84	1.928	0.0285	0.0279
26	1.204	0.622	0.008	1.56	0.84	2.052	0.0288	0.0276
27	1.263	0.673	0.008	1.56	0.84	2.160	0.0272	0.0270

Dengan :

Δh_{13} = Perbedaan ketinggian manometer pertama dengan ketiga (m)

Δh_{23} = Perbedaan ketinggian manometer kedua dengan ketiga (m)

L1 = Jarak antara manometer pertama dengan ketiga (m)

L2 = Jarak antara manometer kedua dengan ketiga (m)

d-in = diameter dalam pipa (m)

u/v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

f13 = friksi yang terjadi antara manometer pertama dengan ketiga

f23 = friksi yang terjadi antara manometer kedua dengan ketiga

4.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan 2.38, dimana nilai dari Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (u/V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (d), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν).

Tabel 4.6 Data Bilangan Reynolds

bukaan katup	T (°C)	D-in (m)	u (m/s)	ν (m ² /s)	Re
1	30	0.008	0.043	8.009E-07	433
2	30	0.008	0.059	8.009E-07	587
3	30	0.008	0.073	8.009E-07	732
4	30	0.008	0.079	8.009E-07	791
5	30	0.008	0.088	8.009E-07	883
6	30	0.008	0.097	8.009E-07	971
7	30	0.008	0.121	8.009E-07	1209
8	30	0.008	0.152	8.009E-07	1522
9	30	0.008	0.189	8.009E-07	1886
10	30	0.008	0.215	8.009E-07	2151
11	30	0.008	0.244	8.009E-07	2442
12	30	0.008	0.278	8.009E-07	2782
13	30	0.008	0.364	8.009E-07	3634
14	30	0.008	0.437	8.009E-07	4366
15	30	0.008	0.679	8.009E-07	6779

Universitas Indonesia

16	30	0.008	0.811	8.009E-07	8103
17	30	0.008	0.920	8.009E-07	9190
18	30	0.008	1.015	8.009E-07	10144
19	30	0.008	1.116	8.009E-07	11146
20	30	0.008	1.220	8.009E-07	12191
21	30	0.008	1.320	8.009E-07	13190
22	30	0.008	1.409	8.009E-07	14072
23	30	0.008	1.537	8.009E-07	15352
24	30	0.008	1.741	8.009E-07	17392
25	30	0.008	1.928	8.009E-07	19255
26	30	0.008	2.052	8.009E-07	20492
27	30	0.008	2.160	8.009E-07	21571

Dengan :

T = Temperatur fluida ($^{\circ}\text{C}$)

d-in = diameter dalam pipa (m)

u/V = Kecepatan aliran fluida (m/s^2)

ν = Viskositas kinematis (m^2/s)

Re = bilangan Reynolds

Nilai viskositas kinematis (ν) untuk air murni didapat dari fungsi temperature fluida.

4.2 Analisis Data

Dapat kita lihat bahwa dengan meningkatnya nilai dari Bilangan Reynolds, maka friksi (f) yang terjadi akan mengalami penurunan. Bila kita membandingkannya friksi (f) yang didapat dari hasil percobaan dengan teori dengan bilangan Reynolds yang sama, maka friksi dari hasil percobaan lebih besar daripada teorinya.

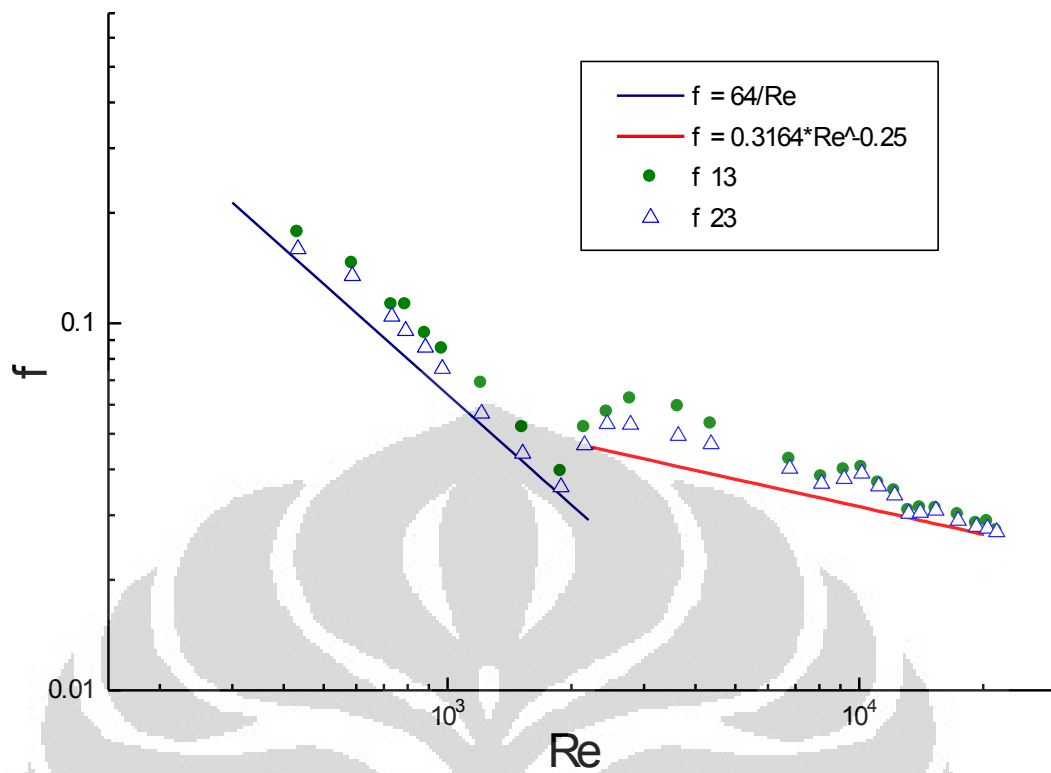
Tabel 4.7 perbandingan nilai friksi antara hasil percobaan dengan teori dengan Bilangan Reynolds yang sama

bukaan katup	f13	f23	Re	f turbulen	f laminer
1	0.1770	0.1594	433		0.1479
2	0.1456	0.1347	587		0.1090
3	0.1124	0.1044	732		0.0874
4	0.1124	0.0954	791		0.0809
5	0.0939	0.0860	883		0.0725
6	0.0852	0.0752	971		0.0659

Universitas Indonesia

7	0.0687	0.0568	1209		0.0529
8	0.0520	0.0442	1522		0.0420
9	0.0395	0.0358	1886		0.0339
10	0.0520	0.0466	2151	0.0465	
11	0.0573	0.0532	2442	0.0450	
12	0.0623	0.0530	2782	0.0436	
13	0.0593	0.0494	3634	0.0408	
14	0.0532	0.0469	4366	0.0389	
15	0.0426	0.0402	6779	0.0349	
16	0.0382	0.0366	8103	0.0333	
17	0.0399	0.0377	9190	0.0323	
18	0.0405	0.0390	10144	0.0315	
19	0.0367	0.0360	11146	0.0308	
20	0.0350	0.0340	12191	0.0301	
21	0.0309	0.0303	13190	0.0295	
22	0.0314	0.0305	14072	0.0291	
23	0.0313	0.0309	15352	0.0284	
24	0.0301	0.0290	17392	0.0276	
25	0.0285	0.0279	19255	0.0269	
26	0.0288	0.0276	20492	0.0264	
27	0.0272	0.0270	21571	0.0261	

Dari table kita mengetahui bahwa ada Bilangan Reynolds untuk aliran laminar dan turbulen. Untuk aliran laminar ($Re < 2000$) kita menggunakan persamaan $f = \frac{64}{Re}$, sedangkan untuk aliran turbulen ($Re > 2000$) kita menggunakan persamaan $f = 0.3164 Re^{-\frac{1}{4}}$. Dan didapat seperti hasil di tabel 4.6



Grafik 4.1 perbandingan nilai friksi antara hasil percobaan dengan teori dengan Bilangan Reynolds yang sama

BAB 5 PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

- Makin besar flowrate sebuah aliran fluida maka makin besar pula Bilangan Reynolds.
- Semakin besar Bilangan Reynolds suatu fluida maka friksi yang terjadi semakin kecil.
- Pada bilangan reynolds yang sama friksi dari percobaan lebih besar dari pada teoritis, ini disebabkan karena faktor-faktor dalam pengambilan data, dan setting alat.

5.2 SARAN

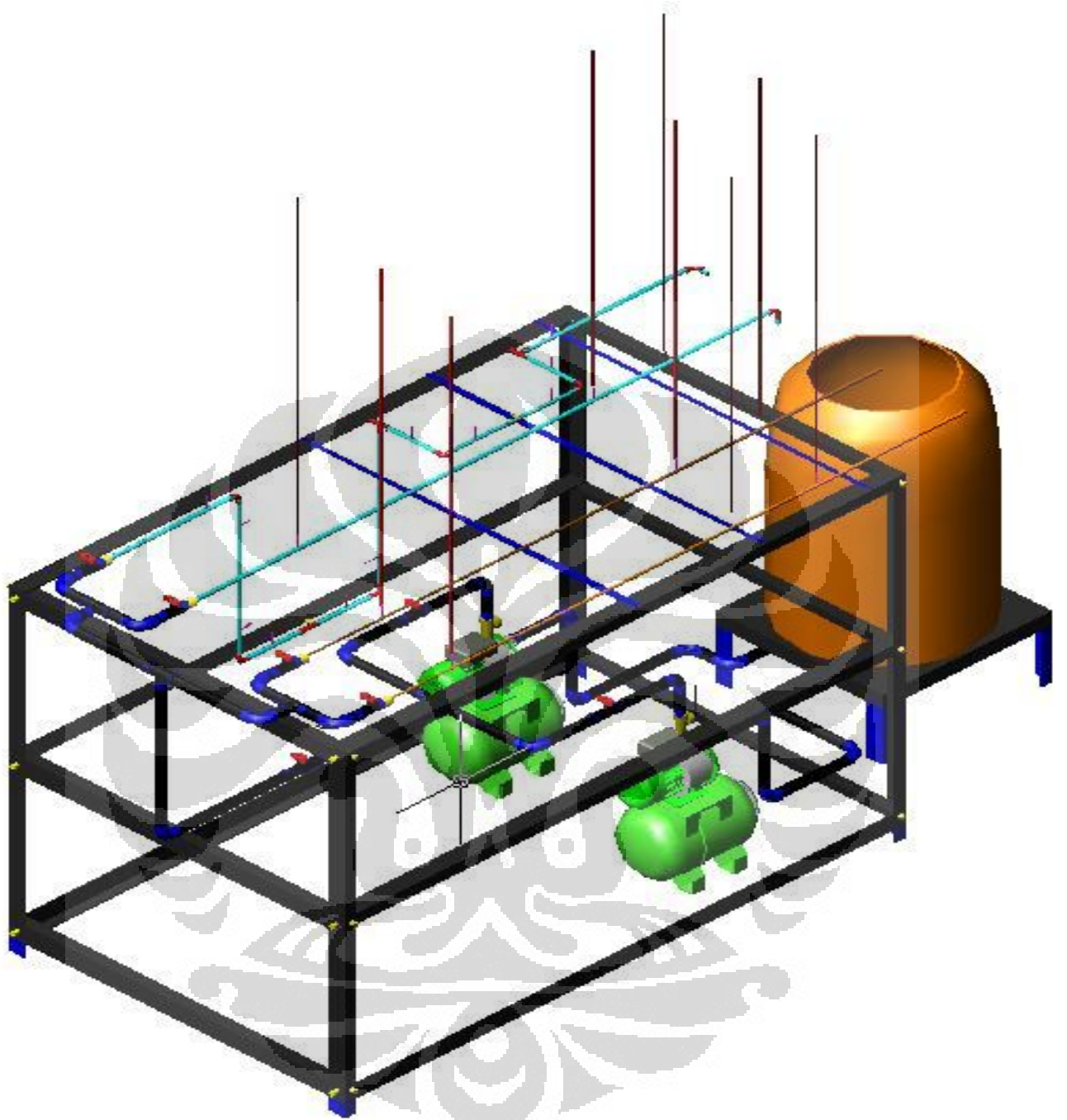
Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

- Data-data yang di ambil pada saat pengujian akan lebih akurat apabila menggunakan peralatan kalibrasi (manometer) yang lebih sensitif atau presisi;
- Untuk mendapatkan data yang akurat dari suatu penelitian perlu digunakan jenis pompa yang lebih memiliki kestabilan putaran, baik dalam kondisi putaran rendah/tinggi atau saat fluida dalam siklus mengalami tekanan maksimum;
- Proses pengaturan laju aliran untuk mendapatkan bilangan Reynolds yang digunakan diatur dengan menggunakan ball valves, alangkah baiknya jika diganti dengan menggunakan adjustable valves (katup putar) untuk mendapatkan pengaturan laju aliran yg lebih tepat.
- Pemasangan tap pada alat uji agar lebih presisi, karena berpengaruh pada manometer.

DAFTAR PUSTAKA

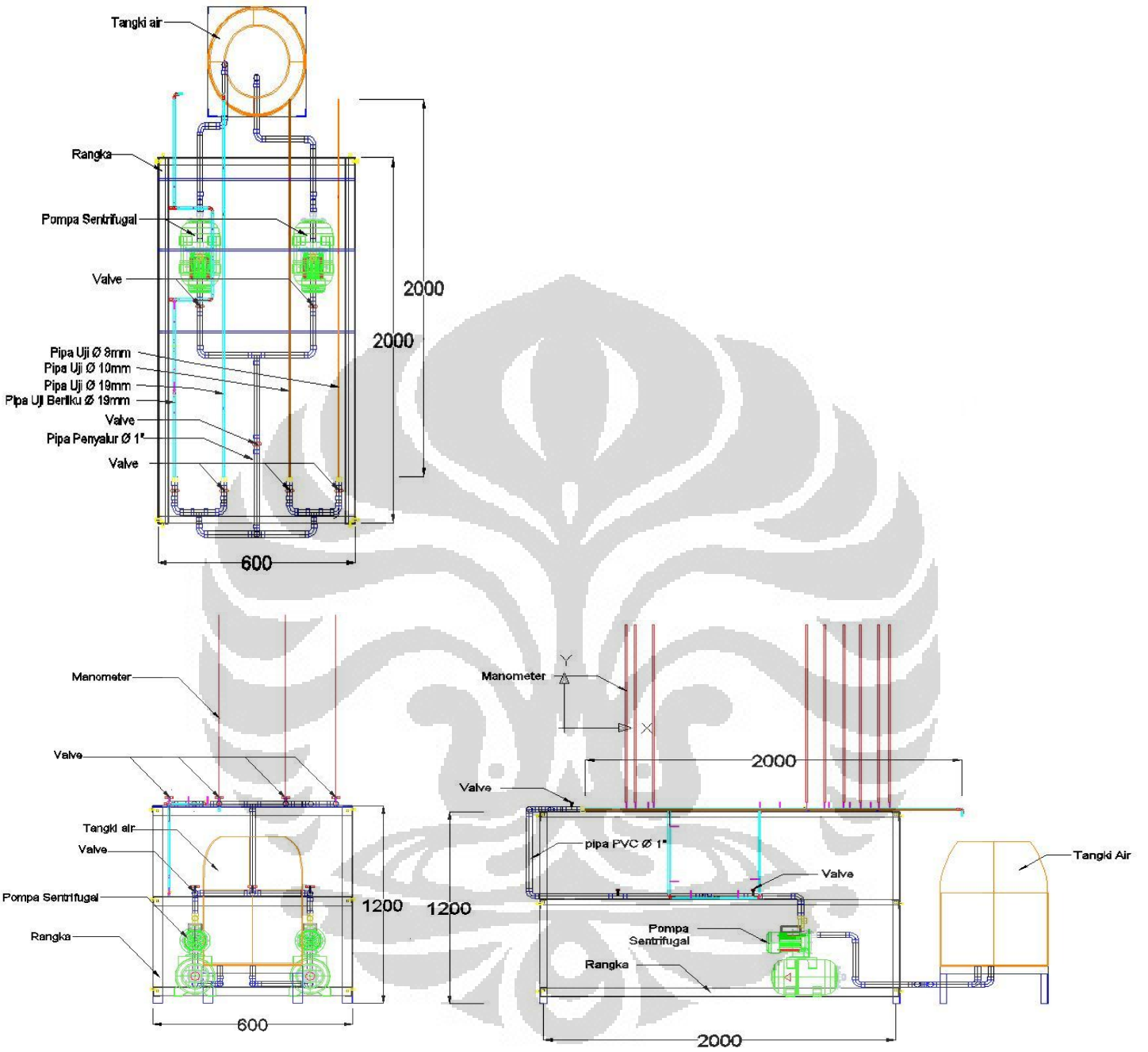
- Munson, B.R., *Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Ed*, John Wiley & Sons, Inc. 2000
- Smits, A.J., A, *Physical Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc. 2000
- Kumar, K.L., *Engineering Fluid Mechanics*, Eurasia Publishing House Ltd., 2000
- Gerhart M Philip, *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Addison Wesley Publishing Company. 1985. P.443.
- Watanabe, K., Yanuar., and H Udagawa, "Drag Reduction of Newtonian fluid in a Circular Pipe with Highly Water-Repellent Wall." *Journal of Fluid Mech.*, p. 225. 1999.
- Etmad, S. Gh. (2004). *Turbulent Flow Friction Loss Coefficients of fittings for Purely Viscous non-Newtonian Fluids*. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 31, 763
- Crane Co. (1976). *Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe*. Tech. Paper No. 410, 16th printing. Crane Co., 300 Park Avenue, NY

Lampiran 1



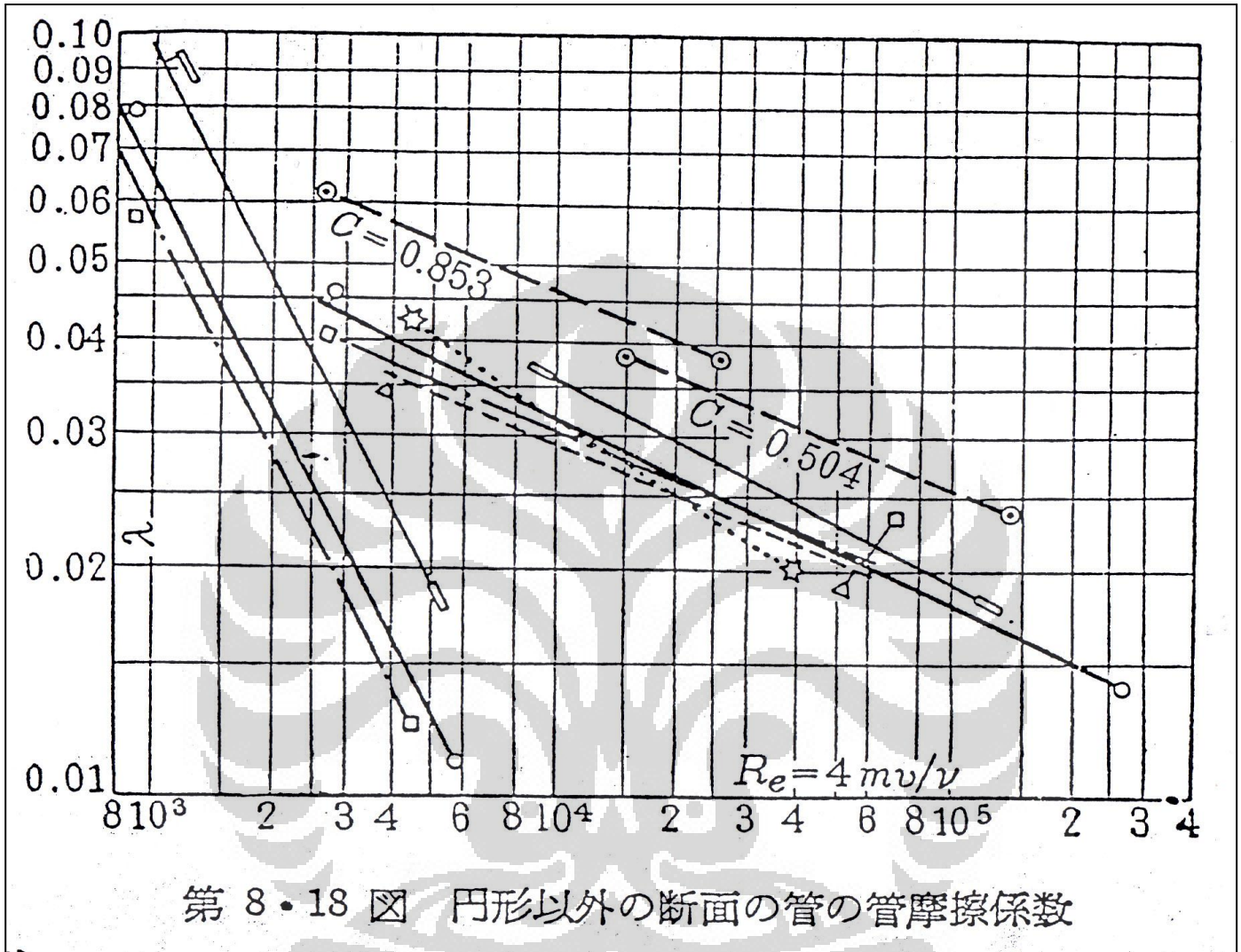
	Skala :		Digambar :	Torang ridho	Keterangan	
	Satuan :	mm	No. Mesin :	01		
	Tanggal :	23/04/2011	Diperiksa :	Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, Msc		
Teknik Mesin Universitas Indonesia		Alat Uji Pressure Drop			NO : 01	A4

Lampiran 2



	Skala :		Digambar :	Torang ridho	Keterangan	
	Satuan :	mm	No. Mesin :	02		
	Tanggal :	23/04/2011	Diperiksa :	Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, Msc		
Teknik Mesin Universitas Indonesia	Tampak Alat Uji Pressure Drop				NO : 02	A4

Lampiran 3 Grafik hubungan koefisien gesek dan bilangan Reynolds pada beberapa bentuk pipa



Lampiran 4 Properti fisika dari air murni

■ TABEL B. 1

Properti Fisika dari Air (Satuan BG)^a

Temperatur (*F)	Densitas, ρ (slugs/ft ³)	Berat Jenis ^b , γ (lb/ft ³)	Viskositas Dinamik, μ (lb - s/ft ²)	Viskositas Kinematik, ν (ft ² /s)	Tegangan Permukaan ^c , σ (lb/ft)	Tekanan Uap, P_v [lb/in ² .(abs)]	Kecepatan Suara ^d , c (ft/s)
32	1,940	62,42	3,732 E - 5	1,924 E - 5	5,18 E - 3	8,854 E - 2	4603
40	1,940	62,43	3,228 E - 5	1,664 E - 5	5,13 E - 3	1,217 E - 1	4672
50	1,940	62,41	2,730 E - 5	1,407 E - 5	5,09 E - 3	1,781 E - 1	4748
60	1,938	62,37	2,344 E - 5	1,210 E - 5	5,03 E - 3	2,563 E - 1	4814
70	1,936	62,30	2,037 E - 5	1,052 E - 5	4,97 E - 3	3,631 E - 1	4871
80	1,934	62,22	1,791 E - 5	9,262 E - 6	4,91 E - 3	5,069 E - 1	4819
90	1,931	62,11	1,500 E - 5	8,233 E - 6	4,86 E - 3	6,979 E - 1	4960
100	1,927	62,00	1,423 E - 5	7,383 E - 6	4,79 E - 3	9,493 E - 1	4995
120	1,918	61,71	1,164 E - 5	6,067 E - 6	4,67 E - 3	1,692 E + 0	5049
140	1,908	61,38	9,743 E - 6	5,106 E - 6	4,53 E - 3	2,888 E + 0	5091
160	1,896	61,00	8,315 E - 6	4,385 E - 6	4,40 E - 3	4,736 E + 0	5101
180	1,883	60,58	7,207 E - 6	3,827 E - 6	4,26 E - 3	7,507 E + 0	5195
200	1,869	60,12	6,342 E - 6	3,393 E - 6	4,12 E - 3	1,152 E + 1	5089
212	1,860	59,83	5,886 E - 6	3,165 E - 6	4,04 E - 3	1,469 E + 1	5062

^aDidasarkan atas data dari *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988. Bila perlu, nilai-nilai diperoleh melalui interpolasi.

^bKerapatan dan Berat Jenis berkaitan dalam persamaan $\gamma = \rho g$. Untuk tabel ini, $g = 32,174 \text{ ft/s}^2$.

^cBersentuhan dengan udara.

^dDari R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

■ TABEL B. 2

Properti Fisika dari Air (Satuan SI)^a

Temperatur (°C)	Densitas, ρ (kg/M ³)	Berat Jenis ^b , γ (kN/m ³)	Viskositas Dinamik, μ (N - s/m ²)	Viskositas Kinematik, ν (m ² /s)	Tegangan Permukaan ^c , σ (N/m)	Tekanan Uap, P_v [N/m ² .(abs)]	Kecepatan Suara ^d , c (m/s)
0	999,9	9,806	1,787 E - 3	1,787 E - 6	7,56 E - 2	6,105 E + 2	1403
5	1000,0	9,807	1,519 E - 3	1,519 E - 6	7,49 E - 2	8,722 E + 2	1427
10	999,7	9,804	1,307 E - 3	1,307 E - 6	7,42 E - 2	1,228 E + 3	1447
20	998,2	9,789	1,002 E - 3	1,004 E - 6	7,28 E - 2	2,338 E + 3	1481
30	995,7	9,765	7,975 E - 4	8,009 E - 7	7,12 E - 2	4,243 E + 3	1507
40	992,2	9,731	6,529 E - 4	6,580 E - 7	6,96 E - 2	7,376 E + 3	1526
50	988,1	9,690	5,468 E - 4	5,534 E - 7	6,79 E - 2	1,233 E + 4	1541
60	983,2	9,642	4,665 E - 4	4,745 E - 7	6,62 E - 2	1,992 E + 4	1552
70	977,8	9,589	4,042 E - 4	4,134 E - 7	6,44 E - 2	3,116 E + 4	1555
80	971,8	9,530	3,547 E - 4	3,650 E - 7	6,26 E - 2	4,734 E + 4	1555
90	965,3	9,467	3,147 E - 4	3,260 E - 7	6,08 E - 2	7,010 E + 4	1550
100	958,4	9,399	2,818 E - 4	2,940 E - 7	5,89 E - 2	1,013 E + 5	1543

^aDidasarkan atas data dari *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988.

^bDensitas dan Berat jenis berhubungan melalui persamaan $\gamma = \rho g$. Untuk tabel ini, $g = 9,807 \text{ M/S}^2$.

^cBersentuhan dengan udara.

^dDari R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.