



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK BENTUK PENAMPANG PIPA KOTAK
TERHADAP NILAI KOEFISIEN GESEK ALIRAN AIR**

SKRIPSI

**ARIF HUDAYA
090665246**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK BENTUK PENAMPANG PIPA KOTAK
TERHADAP NILAI KOEFISIEN GESEK ALIRAN AIR**

SKRIPSI

**ARIF HUDAYA
090665246**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Arif Hudaya

NPM : 0906605246

Tanda Tangan :



Tanggal : 3 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Arif Hudaya
 NPM : 0906605246
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Skripsi : Karakteristik bentuk penampang pipa kotak terhadap nilai koefisien gesek aliran air.

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

()

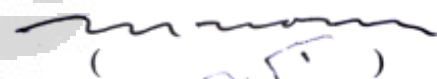
Penguji : Ir. Marcus Alberth Talahatu, MT

()

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo

()

Penguji : Ir. Mukti Wibowo

()

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo

()

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 3 Juli 2011

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. Mas Gunawan dan Mas Baqi yang begitu sabar dan banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan bimbingan hingga terselesaikannya laporan skripsi ini
3. 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;
4. Bapak dan Ibukku, terimakasih atas support dan doanya selalu. Skripsi ini aku pesembahkan untuk kalian.
5. Azmi, wollees Brooh. Thx ya atas semua supportnya. Daling Rino, nanti aku beliin sangkar burung yaa ☺
Achoy, tag-in bangku buat gw yaa. Samping kanan dan kalo bias dekat tembok yaa :D
6. Sayangku Chacha Risa Pramitasari, semoga skripsi ini cukup aku jadikan mas kawin buat kamu hihihi. Mkasih ya sayang, karena doa kamu Mas bias selesaikan belajar Mas di UI. Aku sayang kamuu. :* :*
7. Seluruh sahabat kosan sepuh, keep fight brooh. Keep try and never stop to pry ;)
8. Rizki, akhirnya lo bisa pulang tepat waktu. Semangat semangat !!! :D

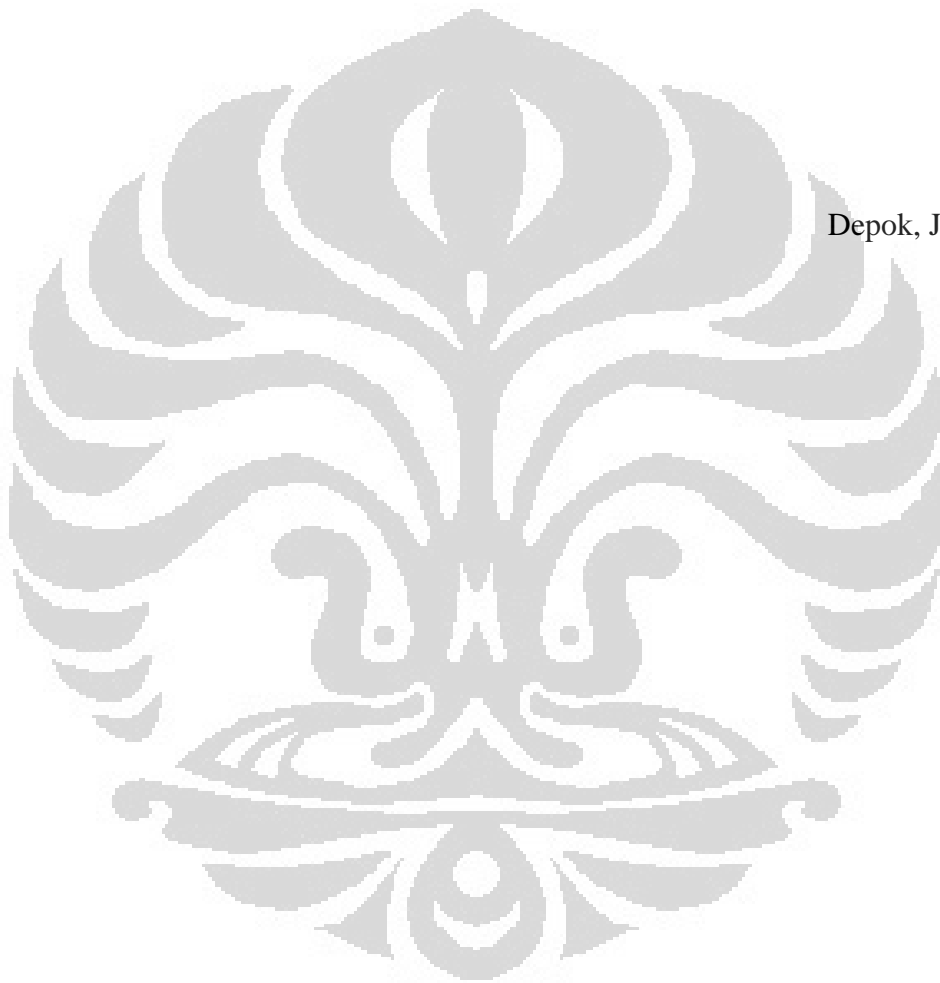
9. PPSE2009, Thx All

10. Temen-temen procurement SIS, Pak Yuyun, makasih banyak atas toleransi dan ijin-ijinnya selalu. Pak Yan, Cling.. #ngilang :D

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. Amin Ya Allah

Depok, Juli 2012

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Arif Huda
NPM : 0906605246
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:

KARAKTERISTIK BENTUK PENAMPANG PIPA KOTAK TERHADAP NILAI KOEFISIEN GESEK ALIRAN AIR

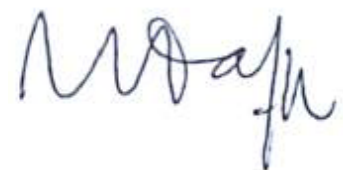
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2012

Yang menyatakan,



(Arif Huda)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Arif Hudaya
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Karakteristik bentuk penampang pipa kotak terhadap nilai koefisien gesek aliran air

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 dan karakteristik yang terjadi pada penampang pipa kotak (segi empat sama sisi) dengan s sebesar 2mm, 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. Perbedaan ketinggian air melalui alat ukur (manometer) 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

Name : Arif Hudaya
Study Program : Mechanical Engineering
Thesis Title : The Characteristic from of the box against the coefficient of friction of water flow

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 and the characteristic from of the box against (square) with $s = 2$ mm, 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
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Metode Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian	2
1.6 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.....	10
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	20
2.6 Kerugian Head (Head Losses)	21
2.6.1 Kerugian Head Mayor.....	21
2.6.2 Kerugian Head Minor	24
2.7 Aliran Laminer Dan Turbulen	24
2.8 Lokasi Peletakan Lubang (Tap) Beda Tekanan	26
2.8.1 Flange Taps	27
2.8.2 Vena Contracta Taps.....	28
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 Kompresor	31
3.2.2 Tangki Air	33
3.2.3 Katup/Valve	34
3.2.4 Manometer	34
3.2.5 Termometer.....	35
3.2.6 Gelas Ukur	37
3.2.7 Stopwatch.....	37
3.2.8 Pipa Penyalur	38
3.3 Prosedur Pengambilan Data	38
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....	40
4.1 Perhitungan Data.....	40
4.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan.....	40
4.1.2 Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida	42
4.1.3 Perhitungan Friksi.....	44

4.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds.....	45
4.2 Analisis Data.....	46
BAB 5 PENUTUP	48
5.1. Kesimpulan	48
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	50

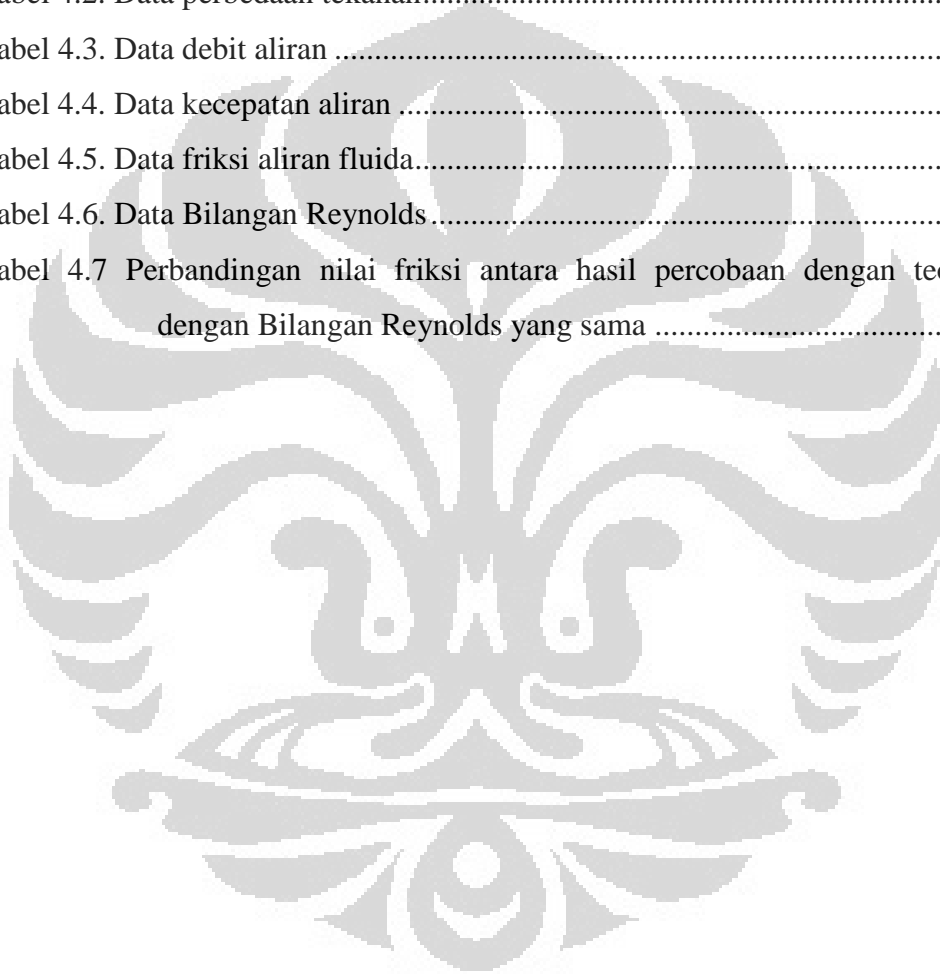


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagan klasifikasi aliran fluida	6
Gambar 2.2. Hubungan antar 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

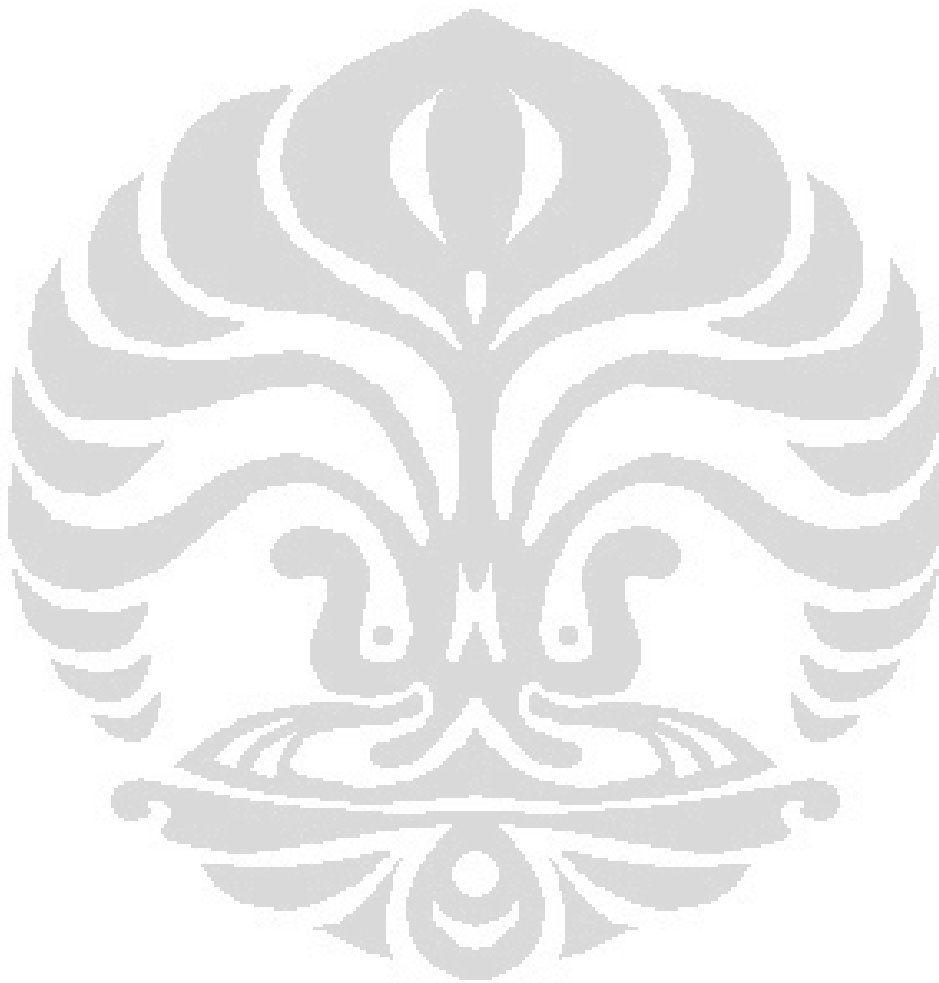
DAFTAR TABEL

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



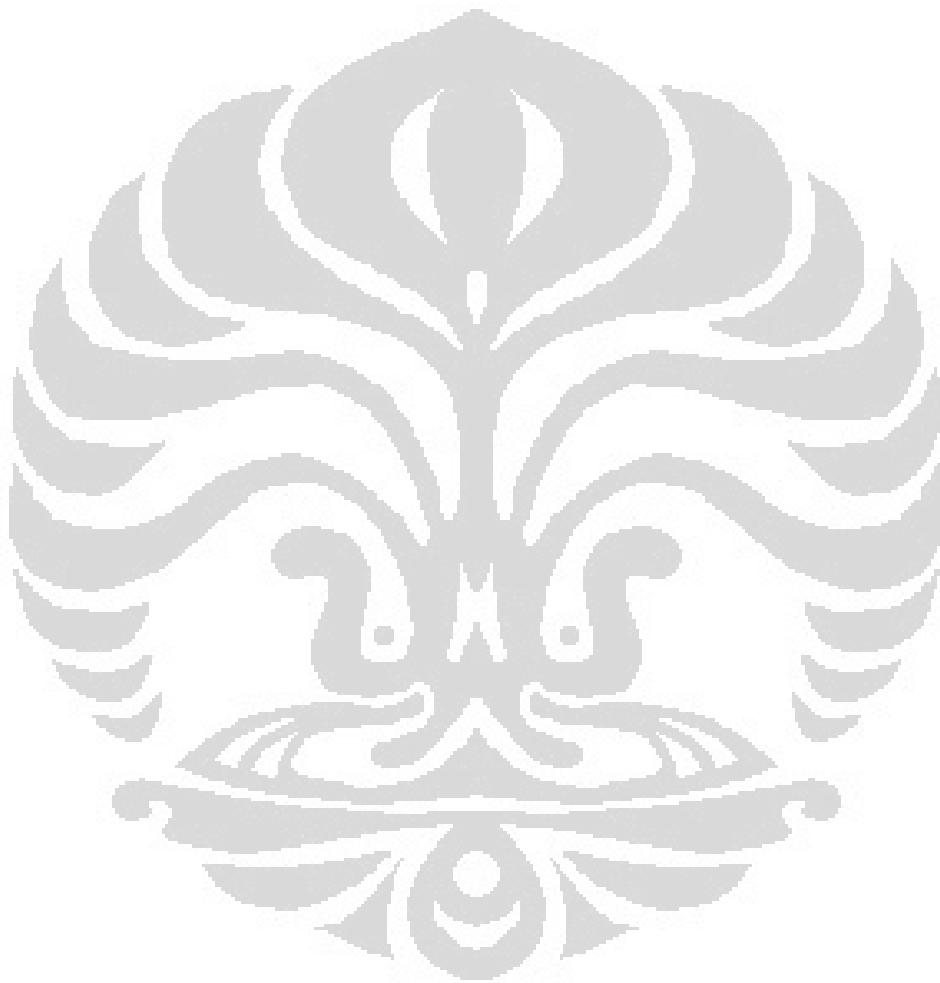
DAFTAR GRAFIK

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



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Teknik 3D Instalasi Alat	52
Lampiran 2. Gambar Teknik Proyeksi 2D Instalasi 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	($^{\circ}\text{C}$)
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	($\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$)
Massa jenis	= ρ	(kg m^{-3})
Massa	= m	(kg)
Koefisien Gesek	= f	
Bilangan Reynolds	= Re	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 variabel dengan cara mengolahnya melalui berbagai formula yang ada sehingga didapatkan hasil dari variabel yang digunakan pada pengujian langsung seperti kapasitas aliran, kecepatan aliran dan bilangan Reynolds.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui karakteristik bentuk penampang pipa kotak dan friksi yang terjadi yang terjadi pada pipa kotak dengan luas penampang $s \times s = 2\text{mm} \times 2\text{mm}$

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

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

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.

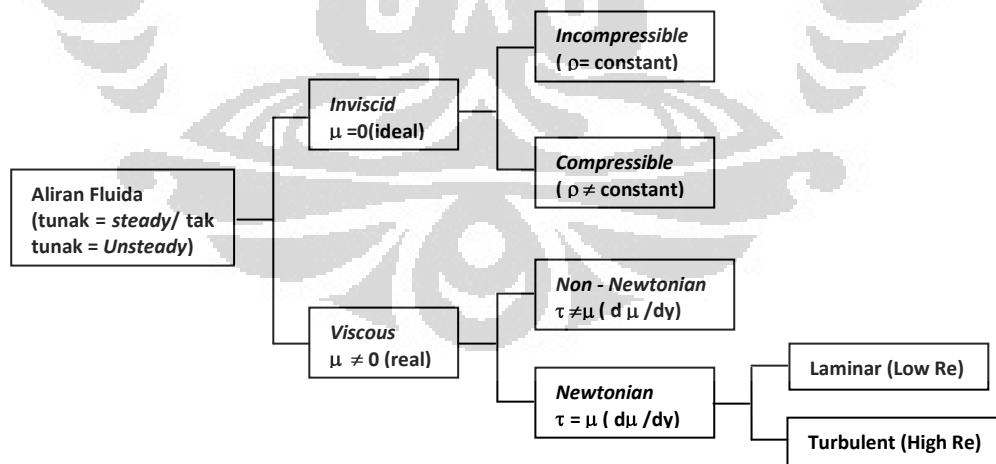
BAB 2 LANDASAN TEORI

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).

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

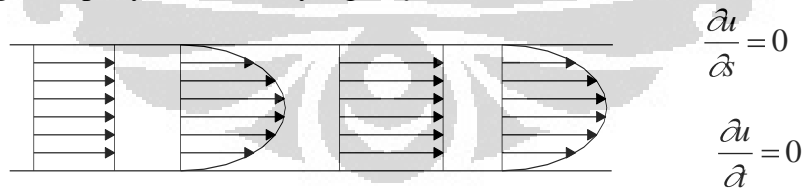
- d. *Non Uniform Flow*: U dan A (kecepatan dan penampang) berubah sepanjang lintasan.

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

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

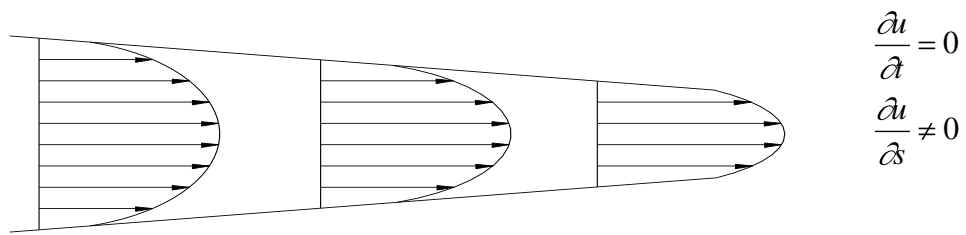
Steady Uniform Flow

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*



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 ke titik, juga berubah dari waktu ke waktu. 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 [m³]

Q = Debit aliran [m²/s]

t = waktu aliran [s]

b. Kecepatan fluida (V)

Didefinisikan besarnya debit aliran yang mengalir persatuan luas.

$$- \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

u = kecepatan atau laju aliran (m/sec)

Q = debit aliran (m³/ sec)

A = Luas penampang (m²)

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 :

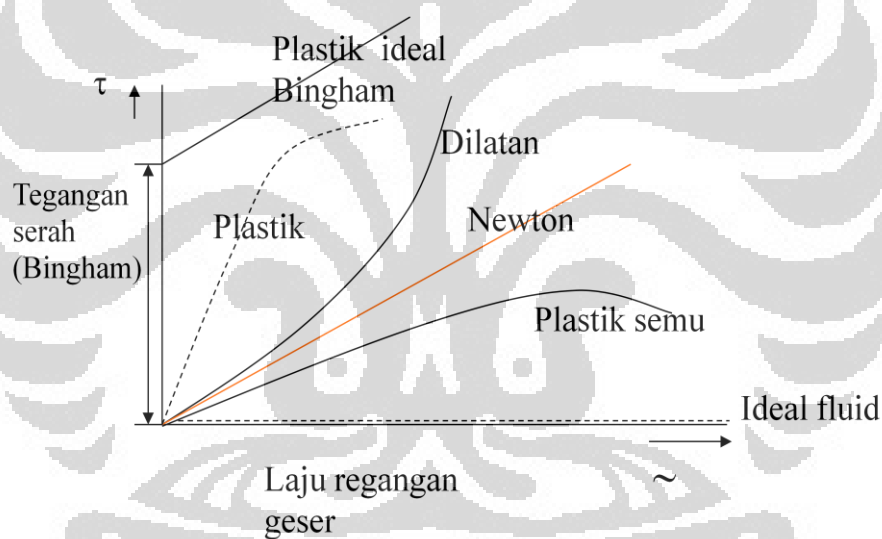
τ = Tegangan geser pada fluida

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*

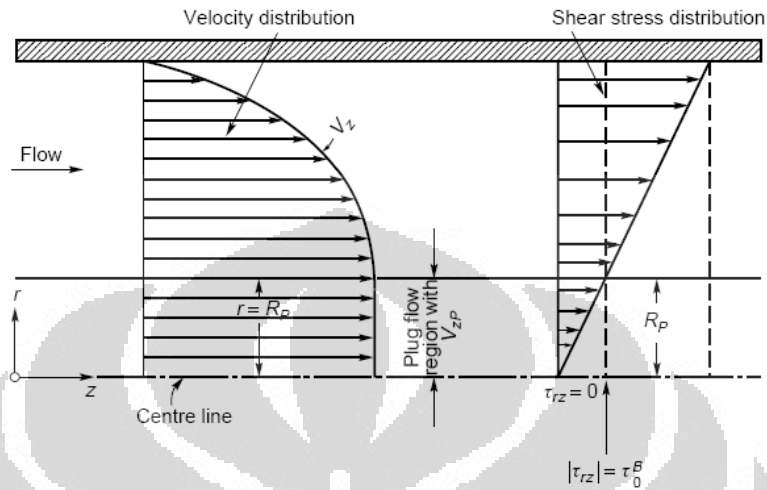
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viskositasnya sangat bergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan.

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 :

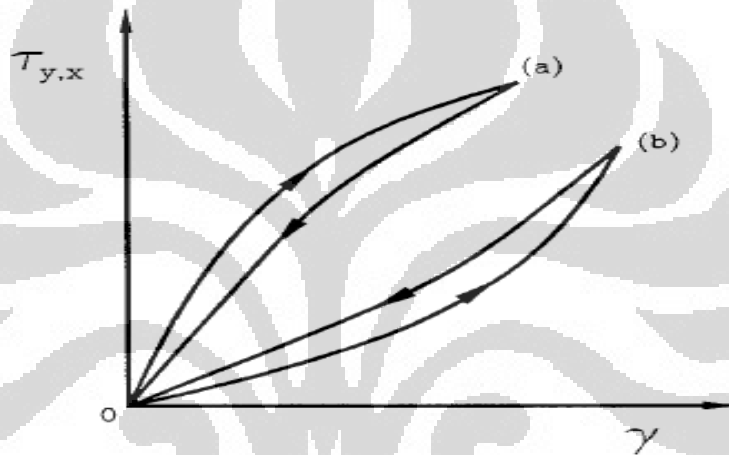
$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (2.7)$$

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.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana ρ = kerapatan (kg/m³)

m = massa benda (kg)

v = volume (m³)

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/m³. Kadang kerapatan diberikan dalam g/cm³. Dengan catatan bahwa jika kg/m³ = 1000 g/(100 cm)³, kemudian kerapatan yang diberikan dalam g/cm³ harus dikalikan dengan 1000 untuk memberikan hasil dalam kg/m³. Dengan demikian kerapatan air adalah 1,00 g/cm³, akan sama dengan 1000 kg/m³. 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 ⁰ C	1.00 x 10 ³
Darah, plasma	1.03 x 10 ³
Darah seluruhnya	1.05 x 10 ³
Air laut	1.025 x 10 ³
Raksa	13.6 x 10 ³
Alkohol, alkyl	0.79 x 10 ³
Bensin	0.68 x 10 ³
Gas	
Udara	1.29
Helium	0.179
Karbon dioksida	1.98
Uap air pada suhu 100 ⁰ C	0.598

Kerapatan ditetapkan pada suhu 0⁰C dan tekanan 1 atm, kecuali ditentukan lain

2.4.2 Berat Jenis (*specific gravity*)

Berat jenis suatu bahan didefinikan 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 :

$$\dots\dots\dots (2.12)$$

$$\dots\dots\dots (2.13)$$

- Dimana ρ_c = massa jenis cairan (kg/m³)
- ρ_w = massa jenis air (kg/m³)
- ρ_g = massa jenis gas (kg/m³)
- ρ_a = massa jenis udara (kg/m³)

2.4.3 Tekanan (*pressure*)

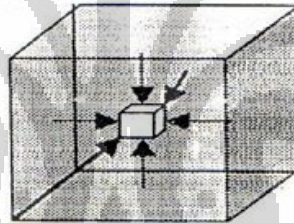
Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A, maka :

$$\dots\dots\dots (2.14)$$

dimana P = tekanan (kg/m²); F = gaya (kg); A = luas permukaan (m²)

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

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho hg \tag{2.15}$$

$$P = \rho gh \tag{2.16}$$

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 diatasnya). 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

$$\dots\dots\dots (2.17)$$

dimana :

Δp = perbedaan tekanan (mmHg)

ρ = kerapatan (kg/m^3)

g = gravitasi (m/det^2)

Δh = pertambahan kedalaman (m)

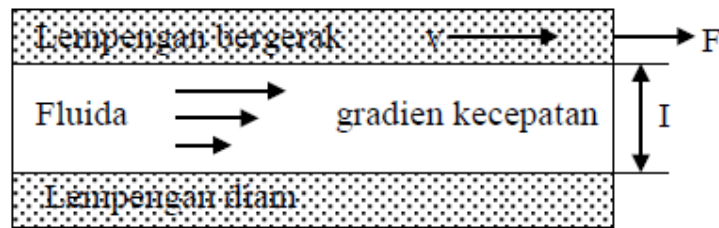
2.4.4 Kekentalan (*viscosity*)

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 kuantatif 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 permukaanya 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 :

$$F = \eta A \frac{v}{L} \quad (2.18)$$

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

$$\eta = \frac{F L}{A v} \quad (2.19)$$

dimana :

F = gaya (kg/m^2)

A = luasan fluida yang bersinggungan dengan setiap lempengan (m^2)

V = kecepatan fluida (m/detik^2)

L = Jarak lempengannya (m^2)

η = koefisien kekentalan (pa.s)

Penyelesaian untuk η , kita peroleh $\eta = FL/vA$. Satuan SI untuk η adalah $\text{N.s/m}^2 = \text{Pa.s}$ (pascal.detik). Dalam sistem cgs, satuan ini adalah dyne.s/cm^2 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	$0,009 \times 10^{-3}$
Uap air	100	$0,013 \times 10^{-3}$

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 :

$$\dots\dots\dots (2.20)$$

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 :

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

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 (EF), dirumuskan sebagai :

$$E_p = p A L \quad (2.22)$$

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 :

$$E_p = \gamma A L h \quad (2.23)$$

Dimana : γ = berat jenis fluida (N/m^3)

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

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + p A L + \gamma A L h \quad (2.24)$$

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 :

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + h \quad (2.25)$$

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 :

$$\dots\dots\dots (2.26)$$

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

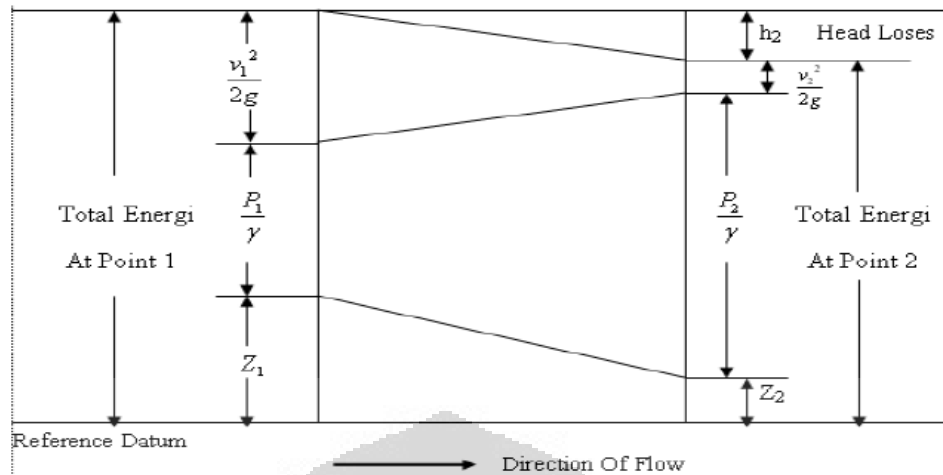
γ = berat jenis fluida

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s²

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 :

$$\dots\dots\dots (2.27)$$

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 :

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

Dimana :

h_f = kerugian head karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

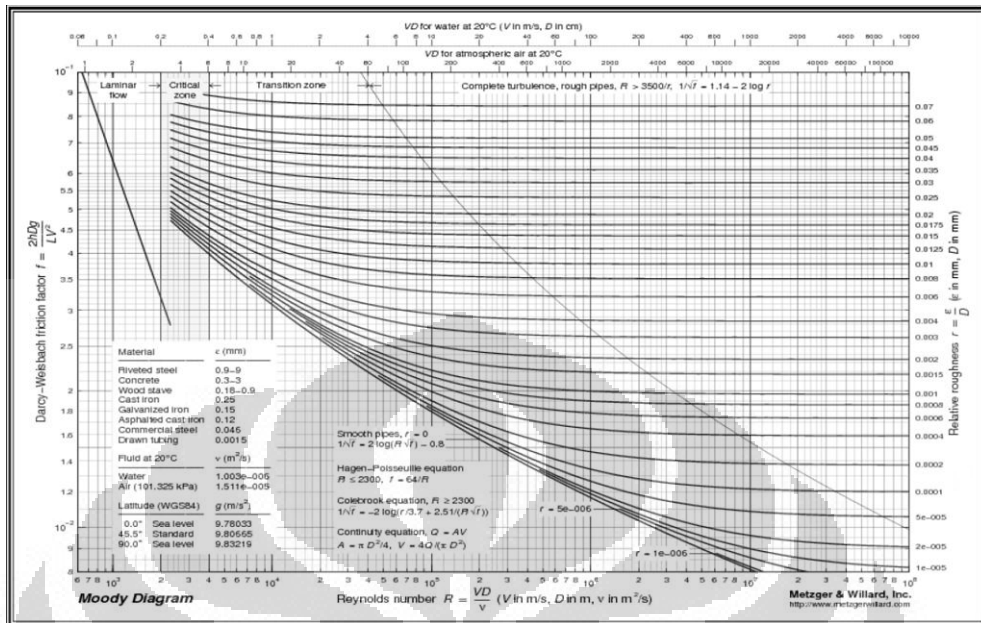
d = diameter dalam pipa (m)

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 :

$$\dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

hf = kerugian gesekan dalam pipa (m)

Q = laju aliran dalam pipa (m^3/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 :

$$\dots\dots\dots (2.30)$$

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 :

$$\dots\dots\dots (2.31)$$

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 $Re = 3000 - 100.000$

$$\dots\dots\dots (2.32)$$

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

$$\dots\dots\dots (2.33)$$

$$\dots\dots\dots (2.34)$$

- ❖ Untuk pipa kasar, menurut Von Karman yaitu :

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana harga f tidak tergantung pada bilangan Reynold.

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

$$f = \frac{0.0791}{Re^{0.25}} \dots\dots\dots (2.36)$$

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 :

$$h_m = \sum K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.37)$$

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.

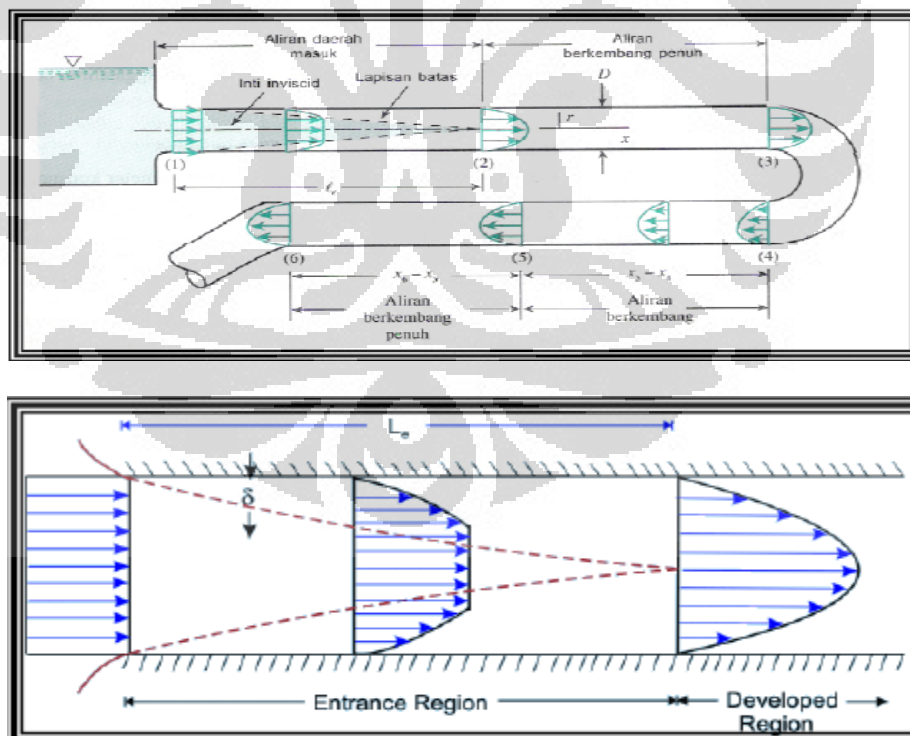
2.7 Aliran Laminar dan Turbulen

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 ketidakmampubalikan 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 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 :

$$\text{---} \dots \dots \dots (2.38)$$

Dimana :

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

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 :

$$\text{---} \dots \dots \dots (2.39)$$

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 :

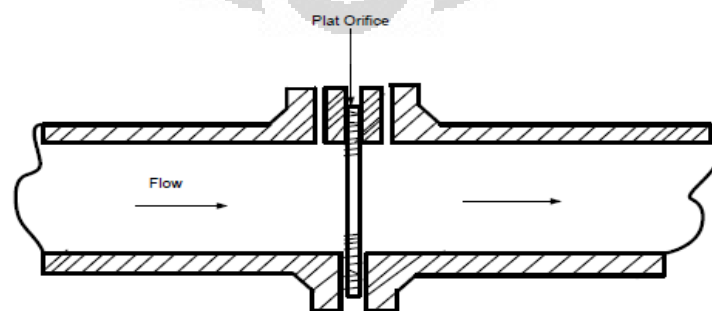
1. Flange Taps
2. Vena Contracta Taps
3. Pipe Taps
4. Corner Taps

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 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 flensnya dapat berubah jika flensnya 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

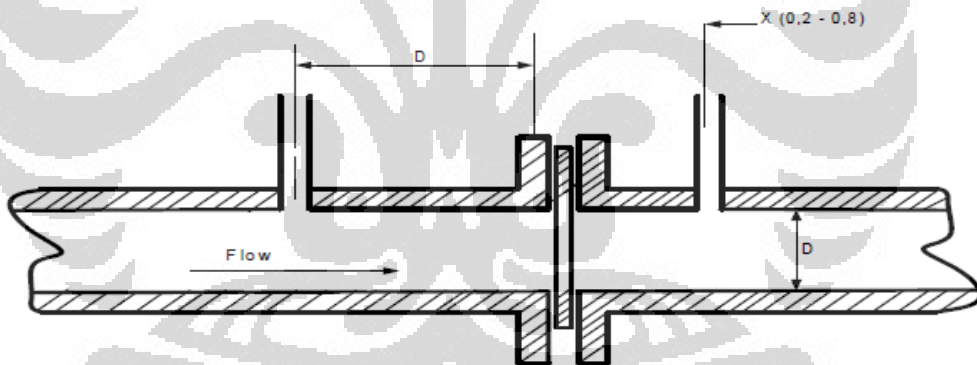
Diameter Pipa (mm)	Ketebalan Plat Orifice (mm)
Kurang dari 100	1,5 ~ 3,0
100 – 200	3,0 ~ 6,0
Lebih dari 200	6,0 ~ 12,0



Gambar 2.10 Flange Taps

2.8.2 Vena Contracta Taps

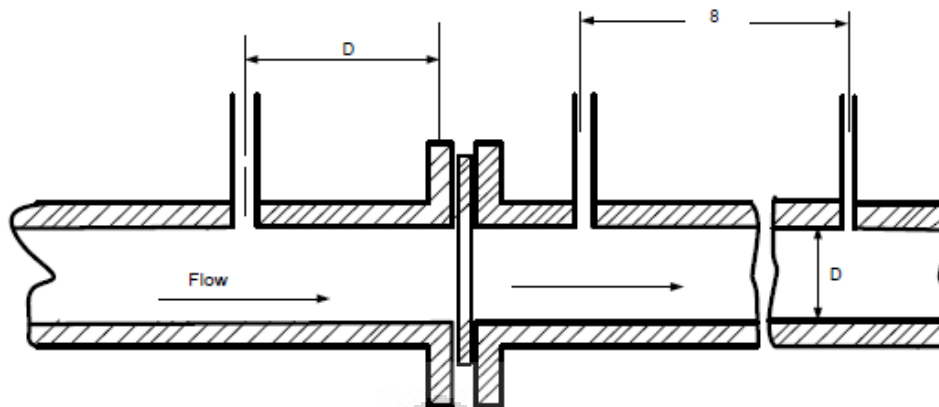
Pada *vena contracta taps*, jarak lubang-lubang pengambilan beda tekanan ditempatkan berbeda dari sisi awal plat orifice dan akhir plat orifice. Pada lubang-lubang *up-stream orifice* atau lubang awal jarak penempatan dari lubangnya terhadap plat orifice itu sendiri adalah sama dengan besar diameter 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 berdiameter 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

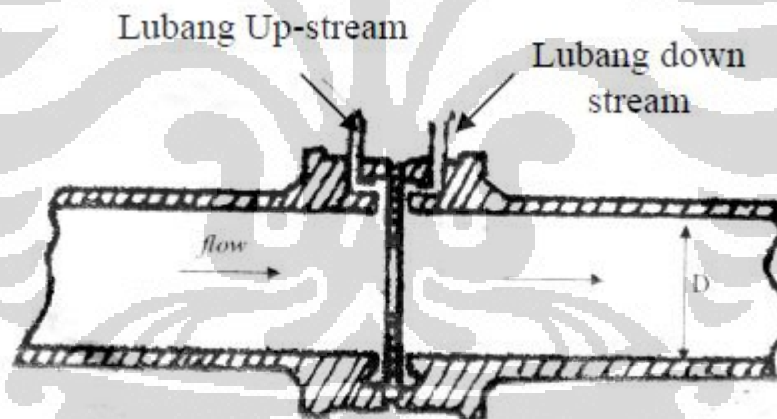
Pada tipe pipe taps ini, lubang-lubang pengambilan beda tekanan berbeda antara lubang *up-stream orifice* dengan lubang *down stream*. Beda lubang *up-stream* ditempatkan pada jarak 2,5 kali dari besar diameter pipa aliran yang digunakan yang diukur dari sisi *up-stream orifice*. Sedangkan pada lubang *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. Pipe 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 yang digunakan ini cukup sederhana, dimana alat uji adalah sebuah pipa kecil berpenampang kotak / segi empat sama sisi dengan sisi dalam 2 mm dan sisi luar 3 mm, dengan panjang pipa 1 m. Pipa ini dihubungkan dengan tabung storage air murni, dimana tabung setelah diisi air murni akan diberi tekanan udara yang diisi juga kedalam tabung melalui selang kompresor sehingga memberikan tekanan dalam ruang tabung untuk menekan agar mengalir keluar. Pada alat uji (pipa kotak) dipasang dua buah manometer, dimana manometer pertama terpasang pada jarak 250 mm dari ujung pipa, manometer kedua 750 mm dari ujung pipa. Pada jarak tersebut, pipa kotak dilubangi kemudian dibuatkan saluran selang kecil sebagai manometer.



Gambar 3.1 Instalasi alat uji coba pipa kotak

3.2 Peralatan Pendukung

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

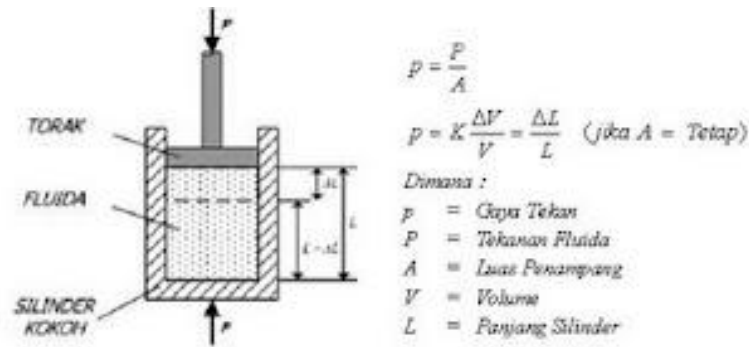
3.2.1 Kompresor

Kompresor adalah Mesin untuk memampatkan udara atau gas. Secara umum biasanya menghisap udara dari atmosfer, yang secara fisika merupakan campuran beberapa gas dengan susunan 78% Nitrogen, 21% Oksigen dan 1% Campuran Aragon, Carbon Dioksida, Uap Air, Minyak dan lainnya. Namun ada kompresor yang menghisap udara / gas dengan tekanan atmosfer dan biasa disebut penguat (booster). Sebaliknya ada pula kompresor yang menghisap udara / gas bertekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer dan biasanya disebut pompa vakum.



Gambar 3.2 Kompresor

Jika suatu gas/ udara didalam sebuah ruangan tertutup diperkecil volumenya, maka gas/ udara tersebut akan mengalami kompresi. Kompresor yang menggunakan azas ini disebut kompresor jenis displacement dan prinsip kerjanya dapat dilukiskan seperti pada gambar dibawah ini;



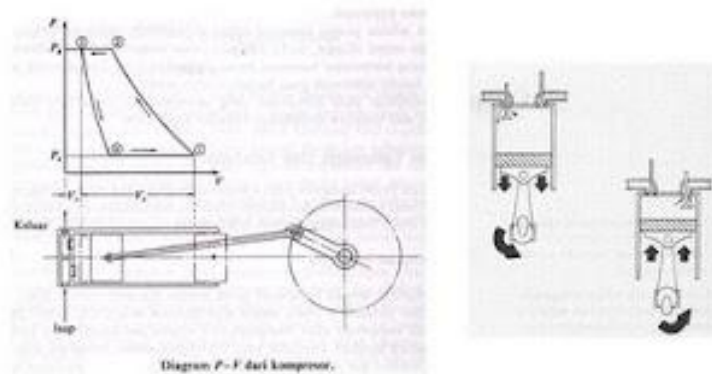
Gambar 3.3 Kompresi Fluida

Disini digunakan torak yang bergerak bolak balik oleh sebuah penggerak mula (prime mover) didalam sebuah silinder untuk menghisap, menekan dan mengeluarkan udara secara berulang-ulang. Dalam hal ini udara tidak boleh bocor melalui celah antara dinding torak dengan dinding silinder yang saling bergesekan. Untuk itu digunakan cincin torak sebagai perapat.

Jika torak ditarik keatas, tekanan dalam silinder dibawah torak akan menjadi negatif (kecil dari tekanan atmosfer) sehingga udara akan masuk melalui celah katup isap. Kemudian bila torak ditekan kebawah, volume udara yang terkurung dibawah torak akan mengecil sehingga tekanan akan naik.

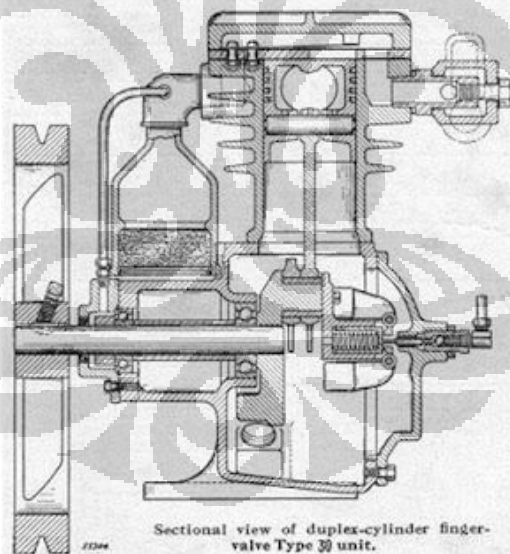
Berdasarkan prinsip kerjanya, kompresor terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu Displacement (torak) seperti dijelaskan diatas dan Dynamic (rotary) yang mengalirkan udara melalui putaran sudu berkecepatan tinggi. Proses kompresi udara yang terjadi pada kompresor torak dapat dijelaskan dengan menggunakan pendekatan seperti terlihat pada gambar 3.2.

Torak memulai langkah kompresinya pada titik (1) diagram P-V, kemudian bergerak ke kiri dan udara dimampatkan hingga tekanan naik ke titik (2). Pada titik ini tekanan dalam silinder mencapai harga tekanan P_d yang lebih tinggi dari pada tekanan dalam pipa keluar (atau tangki tekan) sehingga katup keluar pada kepala silinder akan terbuka. Jika torak terus bergerak ke kiri, udara akan didorong keluar silinder pada tekanan tetap sebesar P_d . Di titik (3) torak mencapai titik mati atas, yaitu titik akhir gerakan torak pada langkah kompresi dan pengeluaran.



Gambar 3.4 Diagram P-V dari Kompresor

Pada Gambar 3.3. terlihat bentuk dan susunan konstruksi kompresor yang menjelaskan secara visual bahwa udara masuk melalui air intake filter diisap oleh torak sampai ke titik maksimum bawah. Sebelum masuk ke torak udara didalam kartel bersamaan diisap melalui pipa vacum, sehingga tidak terjadinya vacum di dalam kartel. Kemudian udara yang vacum di silinder keluar melalui pipa vacum.



Gambar 3.5 Potongan Melintang Kompresor Torak

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 3.6 Tangki Air

3.2.3 Valve/Katup

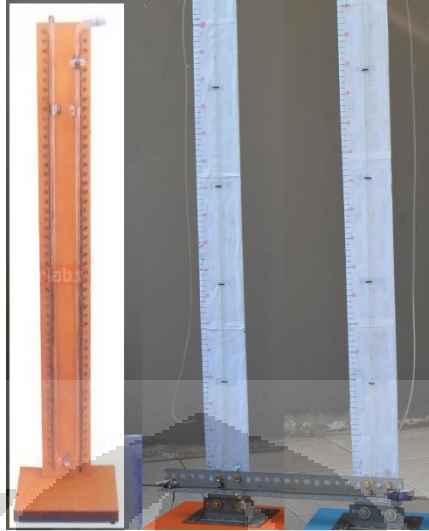
Valve/Katup ini digunakan untuk mengatur jumlah debit yang mengalir. Jenis valve yang digunakan adalah katub ulir . Tujuannya agar dapat diatur variasi pembukaan yang sangat banyak,



Gambar 3.7 Valve dengan Katub ulir

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.



Gambar 3.8 Manometer

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 laboratoriu (-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.
- 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 3.9 Termometer Air Raksa

3.2.6 Gelas Ukur

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



Gambar 3.10 Gelas Ukur

3.2.7 Stopwatch

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



Gambar 3.11 Stopwatch

3.2.8 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. Mengalirkan udara dari selang kompresor ke tanki storage, 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 dan manometer kedua.
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. Melakukan langkah ke-5 sampai langkah ke-7 dengan pembukaan katup utama diperbesar sampai dengan pembukaan penuh.
9. 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)	Δh (mm)	Δh (m)	t (s)
1	428	90	338	0.3380	86.35
2	452	101	351	0.3510	84.50
3	477	112	365	0.3650	81.05
4	503	123	380	0.3800	78.01
5	530	135	395	0.3950	74.89
6	558	148	410	0.4100	59.76
7	587	161	426	0.4260	55.77
8	617	174	443	0.4430	51.41
9	648	188	460	0.4600	47.79
10	680	203	477	0.4770	42.89
11	713	218	495	0.4950	38.12
12	747	233	514	0.5140	35.75
13	782	249	533	0.5330	31.67
14	818	266	552	0.5520	37.50
15	855	283	572	0.5720	32.49
16	932	318	614	0.6140	26.30
17	972	337	635	0.6350	22.54
18	1055	375	680	0.6800	16.80
19	1187	437	750	0.7500	12.23
20	1280	480	800	0.8000	10.88
21	1530	598	932	0.9320	9.23
22	1637	648	989	0.9890	9.01
23	1692	674	1018	1.0180	8.90
24	2165	894	1271	1.2665	8.02

Bukaan Katup	h1 (mm)	h2 (mm)	Δh (mm)	Δh (m)	t (s)
25	2653	1118	1535	1.5225	7.14
26	2775	1174	1601	1.5865	6.92
27	4422	1930	2492	2.4505	5.53
28	5459	2406	3053	2.9945	5.02
29	6374	2826	3548	3.4745	4.57
30	7228	3218	4010	3.9225	4.15
31	8448	3778	4670	4.5625	3.55
32	9668	4338	5330	5.2025	2.95
33	11071	4982	6089	5.9385	2.26

Dengan :

h1 = ketinggian manometer pertama

h2 = ketinggian manometer kedua

Δh = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua (h1 dan h2)

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 (mm)	Δh (m)	ΔP (Pa)
1	338.00	0.3380	3301.52
2	351.00	0.3510	3428.50
3	365.00	0.3650	3585.25
4	380.00	0.3800	3711.77
5	395.00	0.3950	3858.29
6	410.00	0.4100	4004.80
7	426.00	0.4260	4161.09
8	443.00	0.4430	4327.14
9	460.00	0.4600	4493.20
10	477.00	0.4770	4659.25
11	495.00	0.4950	4835.07
12	514.00	0.5140	5020.66
13	533.00	0.5330	5206.25
14	552.00	0.5520	5391.83
15	572.00	0.5720	5587.19
16	614.00	0.6140	5997.44
17	635.00	0.6350	6202.56
18	680.00	0.6800	6642.12
19	750.00	0.7500	7325.86
20	800.00	0.8000	7814.25
21	932.00	0.9320	9103.61
22	989.00	0.9890	9660.37
23	1018.00	1.0180	9943.64
24	1266.50	1.2665	12370.94

Bukaan Katup	Δh (mm)	Δh (m)	ΔP (Pa)
25	1522.50	1.5225	14871.50
26	1586.50	1.5865	15496.64
27	2450.50	2.4505	23936.04
28	2994.50	2.9945	29249.73
29	3474.50	3.4745	33938.28
30	3922.50	3.9225	38314.26
31	4562.50	4.5625	44565.67
32	5202.50	5.2025	50817.07
33	5938.50	5.9385	58006.18

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 Katub	t (s)	Vol. (cc-cm3)	Vol. (litr-dm3)	Vol. (m3)	Q (m3/s)
1	86.35	100	0.1	0.0001	1.15808E-06
2	84.50	100	0.1	0.0001	1.18343E-06
3	81.05	100	0.1	0.0001	1.23381E-06
4	78.01	100	0.1	0.0001	1.28189E-06
5	74.89	100	0.1	0.0001	1.33529E-06
6	59.76	100	0.1	0.0001	1.67336E-06
7	55.77	100	0.1	0.0001	1.79308E-06
8	51.41	100	0.1	0.0001	1.94515E-06
9	47.79	100	0.1	0.0001	2.09249E-06
10	42.89	100	0.1	0.0001	2.33155E-06
11	38.12	100	0.1	0.0001	2.62329E-06
12	35.75	100	0.1	0.0001	2.7972E-06
13	31.67	100	0.1	0.0001	3.15756E-06
14	37.50	100	0.1	0.0001	2.66667E-06
15	32.49	100	0.1	0.0001	3.07787E-06
16	26.30	100	0.1	0.0001	3.80228E-06
17	22.54	100	0.1	0.0001	4.43656E-06
18	16.80	100	0.1	0.0001	5.95238E-06
19	12.23	100	0.1	0.0001	8.17651E-06
20	10.88	100	0.1	0.0001	9.19118E-06
21	9.23	100	0.1	0.0001	1.08342E-05
22	9.01	100	0.1	0.0001	1.10988E-05
23	8.90	100	0.1	0.0001	1.1236E-05
24	8.02	100	0.1	0.0001	1.24557E-05
25	7.14	100	0.1	0.0001	1.37347E-05
26	6.92	100	0.1	0.0001	1.40544E-05
27	5.53	100	0.1	0.0001	1.8371E-05
28	5.02	100	0.1	0.0001	2.10889E-05
29	4.57	100	0.1	0.0001	2.3487E-05
30	4.15	100	0.1	0.0001	2.57252E-05
31	3.55	100	0.1	0.0001	2.89227E-05
32	2.95	100	0.1	0.0001	3.21202E-05
33	2.26	100	0.1	0.0001	3.57973E-05

Dengan :

t = waktu (s)

vol = volume (ml)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan 2.2

Untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida (v) kita menggunakan rumus 2. 3, dimana V/u didapat setelah kita mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.4 Data kecepatan aliran

Bukaan Katub	s (m) sama sisi	A Pipa (m ²)	Q (m ³ /s)	v (m/s)
1	0.002	0.000004	1.1581E-06	0.28952
2	0.002	0.000004	1.1834E-06	0.29586
3	0.002	0.000004	1.2338E-06	0.30845
4	0.002	0.000004	1.2819E-06	0.32047
5	0.002	0.000004	1.3353E-06	0.33382
6	0.002	0.000004	1.6734E-06	0.41834
7	0.002	0.000004	1.7931E-06	0.44827
8	0.002	0.000004	1.9451E-06	0.48529
9	0.002	0.000004	2.0925E-06	0.52312
10	0.002	0.000004	2.3315E-06	0.58289
11	0.002	0.000004	2.6233E-06	0.65582
12	0.002	0.000004	2.7972E-06	0.69930
13	0.002	0.000004	3.1576E-06	0.78939
14	0.002	0.000004	2.5567E-06	0.55667
15	0.002	0.000004	3.0779E-06	0.76947
16	0.002	0.000004	3.8023E-06	0.95057
17	0.002	0.000004	4.4366E-06	1.10914
18	0.002	0.000004	5.9524E-06	1.48810
19	0.002	0.000004	8.1766E-06	2.04415
20	0.002	0.000004	9.1912E-06	2.29779
21	0.002	0.000004	1.0834E-05	2.70856
22	0.002	0.000004	1.1099E-05	2.77469
23	0.002	0.000004	1.1236E-05	2.80899
24	0.002	0.000004	1.2456E-05	3.11392
25	0.002	0.000004	1.3735E-05	3.43367
26	0.002	0.000004	1.4054E-05	3.51360
27	0.002	0.000004	1.5371E-05	4.59276
28	0.002	0.000004	2.1089E-05	5.27222
29	0.002	0.000004	2.3487E-05	5.87175
30	0.002	0.000004	2.5725E-05	6.43131
31	0.002	0.000004	2.8923E-05	7.23068
32	0.002	0.000004	3.212E-05	8.03006
33	0.002	0.000004	3.5797E-05	8.94933

Dengan :

s-in = Ukuran sisi dalam pipa segi empat sama sisi (m), lebar sisi digunakan adalah 2 mm

A = Luas penampang pipa (m²) didapat dari persamaan

v = Kecepatan aliran fluida (m/s²)

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 (m)	ΔP (Pa)	$s-in$ (m)	L (m)	v (m/s)	f
1	0.3380	3301.52	0.002	0.5	0.28952	0.31646
2	0.3510	3428.50	0.002	0.5	0.29586	0.31470
3	0.3650	3565.25	0.002	0.5	0.30845	0.30108
4	0.3800	3711.77	0.002	0.5	0.32047	0.29038
5	0.3950	3858.29	0.002	0.5	0.33382	0.27818
6	0.4100	4004.80	0.002	0.5	0.41834	0.18386
7	0.4260	4161.09	0.002	0.5	0.44827	0.16638
8	0.4430	4327.14	0.002	0.5	0.48629	0.14702
9	0.4600	4493.20	0.002	0.5	0.52312	0.13192
10	0.4770	4659.25	0.002	0.5	0.58289	0.11018
11	0.4950	4835.07	0.002	0.5	0.65582	0.09032
12	0.5140	5020.66	0.002	0.5	0.69930	0.08249
13	0.5330	5206.25	0.002	0.5	0.78939	0.06713
14	0.5520	5391.83	0.002	0.5	0.86667	0.09747
15	0.5720	5587.19	0.002	0.5	0.76947	0.07582
16	0.6140	5997.44	0.002	0.5	0.95057	0.05333
17	0.6350	6202.56	0.002	0.5	1.10914	0.04051
18	0.6800	6642.12	0.002	0.5	1.48810	0.02410
19	0.7500	7325.86	0.002	0.5	2.04415	0.01409
20	0.8000	7814.25	0.002	0.5	2.29779	0.01189
21	0.9320	9103.61	0.002	0.5	2.70856	0.00997
22	0.9890	9660.37	0.002	0.5	2.77469	0.01008
23	1.0180	9943.64	0.002	0.5	2.80899	0.01013
24	1.2665	12370.94	0.002	0.5	3.11392	0.01026
25	1.5225	14871.50	0.002	0.5	3.43367	0.01030
26	1.5865	15496.64	0.002	0.5	3.51360	0.01031
27	2.4505	23936.04	0.002	0.5	4.59276	0.01043
28	2.9945	29249.73	0.002	0.5	5.27222	0.01051
29	3.4745	33938.28	0.002	0.5	5.87175	0.01058
30	3.9225	38314.26	0.002	0.5	6.43131	0.01064
31	4.5625	44565.67	0.002	0.5	7.23068	0.01074
32	5.2025	50817.07	0.002	0.5	8.03006	0.01083
33	5.9385	58006.18	0.002	0.5	8.94933	0.01093

Dengan :

Δh = Perbedaan ketinggian manometer pertama dengan manometer kedua (m)

L = Jarak antara manometer pertama dengan kedua (m)

$s-in$ = Lebar sisi dalam pipa kotak sama sisi (m)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

f = friksi yang terjadi antara kedua manometer

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	μ kg/m s	s-in (m)	ν (m ² /s)	U (m ² /s)	Re
1	26.50	0.0007975	0.002	0.28952	8.00944E-07	722.94537
2	26.50	0.0007975	0.002	0.29586	8.00944E-07	738.77316
3	26.50	0.0007975	0.002	0.30845	8.00944E-07	770.22002
4	26.50	0.0007975	0.002	0.32047	8.00944E-07	800.23500
5	26.50	0.0007975	0.002	0.33382	8.00944E-07	833.57367
6	26.50	0.0007975	0.002	0.41834	8.00944E-07	1044.61734
7	26.50	0.0007975	0.002	0.44827	8.00944E-07	1119.35328
8	26.50	0.0007975	0.002	0.48629	8.00944E-07	1214.28384
9	26.50	0.0007975	0.002	0.52312	8.00944E-07	1306.26349
10	26.50	0.0007975	0.002	0.58289	8.00944E-07	1455.49854
11	26.50	0.0007975	0.002	0.65582	8.00944E-07	1637.62677
12	26.50	0.0007975	0.002	0.69930	8.00944E-07	1746.19111
13	26.50	0.0007975	0.002	0.78939	8.00944E-07	1971.15037
14	26.50	0.0007975	0.002	0.66667	8.00944E-07	1664.70219
15	26.50	0.0007975	0.002	0.76947	8.00944E-07	1921.40142
16	26.50	0.0007975	0.002	0.95057	8.00944E-07	2373.62480
17	26.50	0.0007975	0.002	1.10914	8.00944E-07	2769.57996
18	26.50	0.0007975	0.002	1.48510	8.00944E-07	3715.65311
19	26.50	0.0007975	0.002	2.04415	8.00944E-07	5104.36078
20	26.50	0.0007975	0.002	2.29779	8.00944E-07	5737.71436
21	26.50	0.0007975	0.002	2.70856	8.00944E-07	6763.41628
22	26.50	0.0007975	0.002	2.77469	8.00944E-07	6928.56074
23	26.50	0.0007975	0.002	2.80899	8.00944E-07	7014.19464
24	26.50	0.0007975	0.002	3.11392	8.00944E-07	7775.61858
25	26.50	0.0007975	0.002	3.43367	8.00944E-07	8574.04860
26	26.50	0.0007975	0.002	3.51360	8.00944E-07	8773.65608
27	26.50	0.0007975	0.002	4.59276	8.00944E-07	11468.35707
28	26.50	0.0007975	0.002	5.27222	8.00944E-07	13165.02066
29	26.50	0.0007975	0.002	5.87175	8.00944E-07	14662.07677
30	26.50	0.0007975	0.002	6.43131	8.00944E-07	16059.32913
31	26.50	0.0007975	0.002	7.23068	8.00944E-07	18055.40394
32	26.50	0.0007975	0.002	8.03006	8.00944E-07	20051.47875
33	26.50	0.0007975	0.002	8.94933	8.00944E-07	22346.96477

Dengan :

T = Temperatur fluida dalam suhu ruang (°C)

s-in = Lebar sisi dalam pipa kotak sama sisi (m)

ν = Kecepatan aliran fluida (m/s²)

μ = Viskositas Dinamik Air (kg/m s)

ν = Viskositas kinematis (m²/s)

Re = bilangan Reynolds

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

4.2 Analisis Data

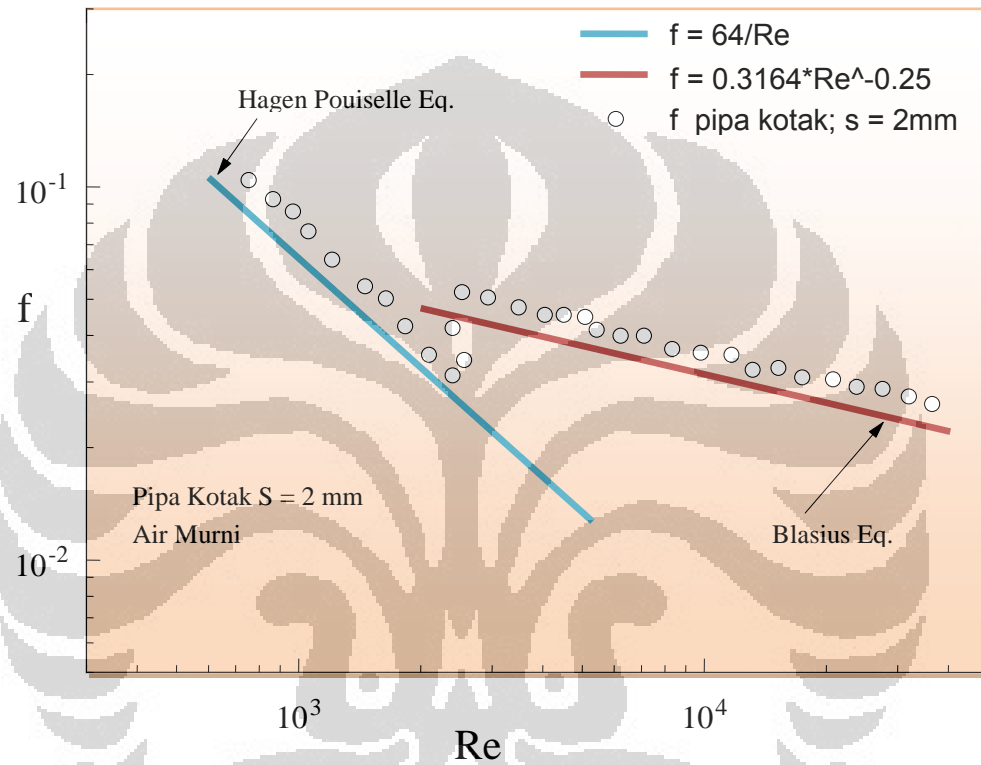
Dapat kita lihat bahwa dengan meningkatnya nilai dari Bilangan Reynolds, maka friksi (f) yang terjadi akan mengalami penurunan. Bila kita membandingkannya friksi (f) yang didapat dari hasil percobaan dengan teori dengan bilangan Reynolds yang sama, maka friksi dari hasil percobaan lebih besar daripada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

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

Bukaan Katup	f	Re	$f = 64/Re$	$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$	Golongan Aliran
1	0.31646	722.94537	0.08714		Laminer
2	0.31470	738.77316	0.08528		Laminer
3	0.30108	770.22002	0.08179		Laminer
4	0.29038	800.23500	0.07873		Laminer
5	0.27818	833.57367	0.07558		Laminer
6	0.18386	1044.61734	0.05031		Laminer
7	0.16638	1119.35328	0.05628		Laminer
8	0.14702	1214.28384	0.05188		Laminer
9	0.13192	1306.26349	0.04823		Laminer
10	0.11018	1455.49854	0.04328		Laminer
11	0.09032	1637.62677	0.03847		Laminer
12	0.08249	1746.19111	0.03608		Laminer
13	0.08213	1971.15037	0.03196		Laminer
14	0.08177	1664.70219	0.03784		Laminer
15	0.08141	1921.40142	0.03279		Laminer
16	0.08066	2373.62480			Transisi
17	0.08032	2769.57996			Transisi
18	0.07960	3715.85311			Transisi
19	0.07852	5104.36078		0.03743	Turbulen
20	0.07780	5737.71436		0.03635	Turbulen
21	0.07599	6763.41628		0.03489	Turbulen
22	0.07527	6928.56074		0.03468	Turbulen
23	0.07491	7014.19464		0.03457	Turbulen
24	0.07202	7775.61868		0.03369	Turbulen
25	0.06914	8574.04860		0.03279	Turbulen
26	0.06841	8773.65608		0.03256	Turbulen
27	0.05867	11468.35707		0.02952	Turbulen
28	0.05254	13165.02066		0.02761	Turbulen
29	0.04712	14662.07677		0.02592	Turbulen
30	0.04207	16059.32913		0.02434	Turbulen
31	0.03485	18055.40394		0.02209	Turbulen
32	0.02764	20051.47875		0.01984	Turbulen
33	0.01934	22346.96477		0.01725	Turbulen

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 $f = 0.3164Re^{-0.25}$. Dan sebagaimana hasil yang diperoleh pada tabel 4.6, dapat digambarkan dalam grafik perbandingan koefisien gesek yang terjadi pada pipa kotak s 2mm dengan grafik laminar (Hagen Pouiselle) dan turbulen (Blasius).



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

Dari Grafik diatas, dijelaskan bahwa hasil perhitungan nilai f dari pengambilan data aliran air murni pada pipa kotak s 2 mm lebih besar dibanding nilai f yang dihitung dengan formula yang telah ada, dengan acuan bilangan Reynolds yang sama dari hasil pengambilan data. Dimana f pipa kotak dengan aliran laminar lebih besar dari nilai $f = 64/Re$ laminar, dan f pipa kotak dengan aliran turbulen juga bernilai lebih besar dibandingkan nilai $f = 0.3164 \cdot Re^{-0.25}$. Jelas hal demikian yang terjadi karena $f = 64/Re$ dan $f = 0.3164 \cdot Re^{-0.25}$ sudah merupakan hasil terakurat berdasarkan diagram Woody, dan disamping itu juga banyak factor error yang menjadikan ketidakakuratan hasil.

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
- Pada pipa berpenampang kotak (segi empat sama sisi) ini didapati nilai friksi yang lebih besar jika dibandingkan dengan friksi laju aliran pada pipa berpenampang bulat.

5.2 SARAN

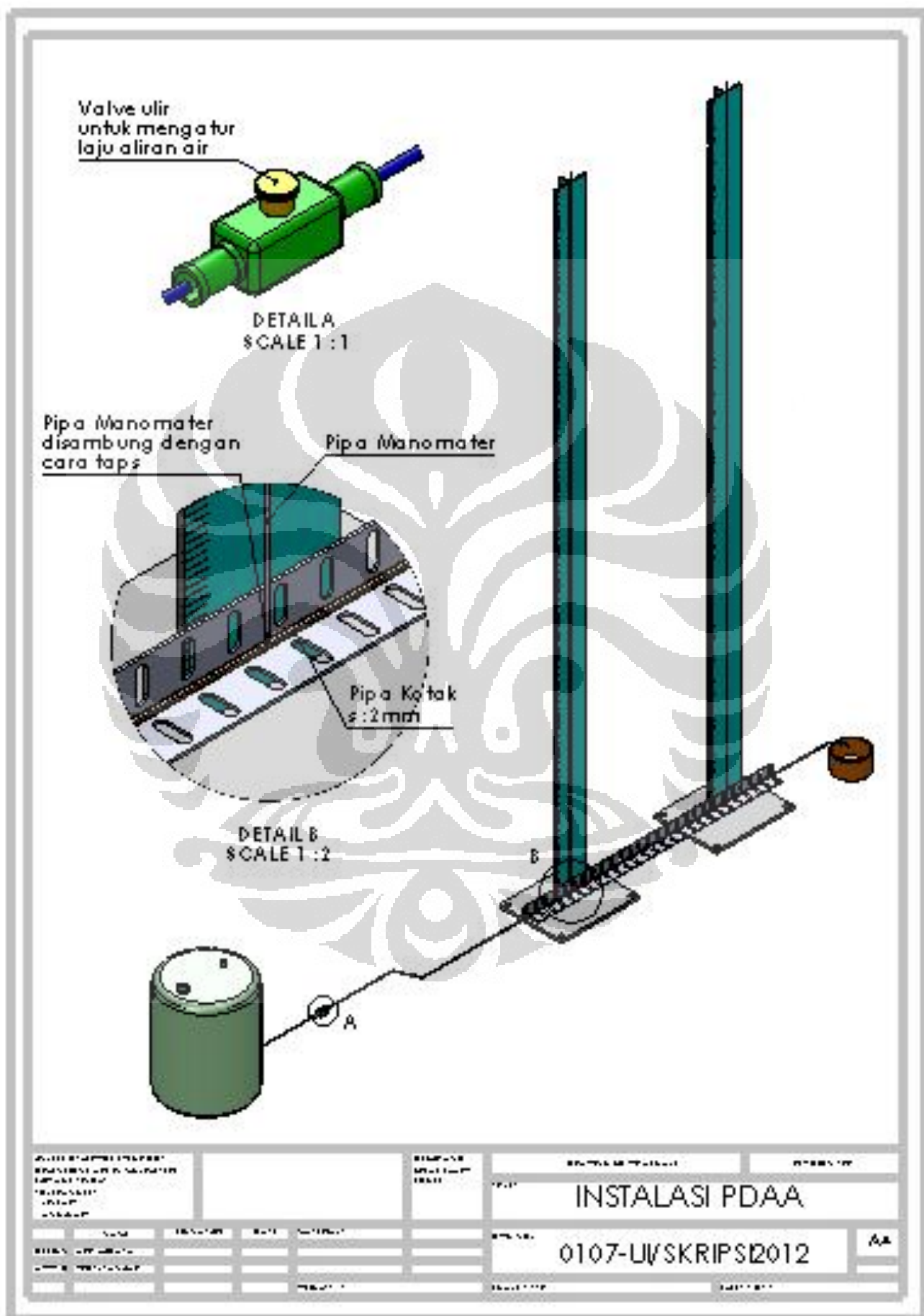
Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

- Data-data yang di ambil pada saat pengujian akan lebih akurat apabila menggunakan peralatan kalibrasi (manometer) yang lebih sensitif atau presisi. Juga dibutuhkan kompresor yang memiliki kestabilan tekanan, baik dalam kondisi putaran rendah/tinggi atau saat fluida dalam siklus mengalami tekanan maksimum;
- Penggunaan tabung untuk storage dan supply fluida masih menggunakan tabung dengan ukuran kecil dan setting sederhana, untuk mendapatkan data yang lebih akurat sebaiknya menggunakan storage dengan kapasitas yang lebih besar dan instalasi yang lebih baik agar mampu menampung fluida yang lebih banyak dan mampu menahan tekanan yang lebu tinggi dari kompresor
- Pemasangan tap pada alat uji agar lebih presisi, karena berpengaruh pada manometer.

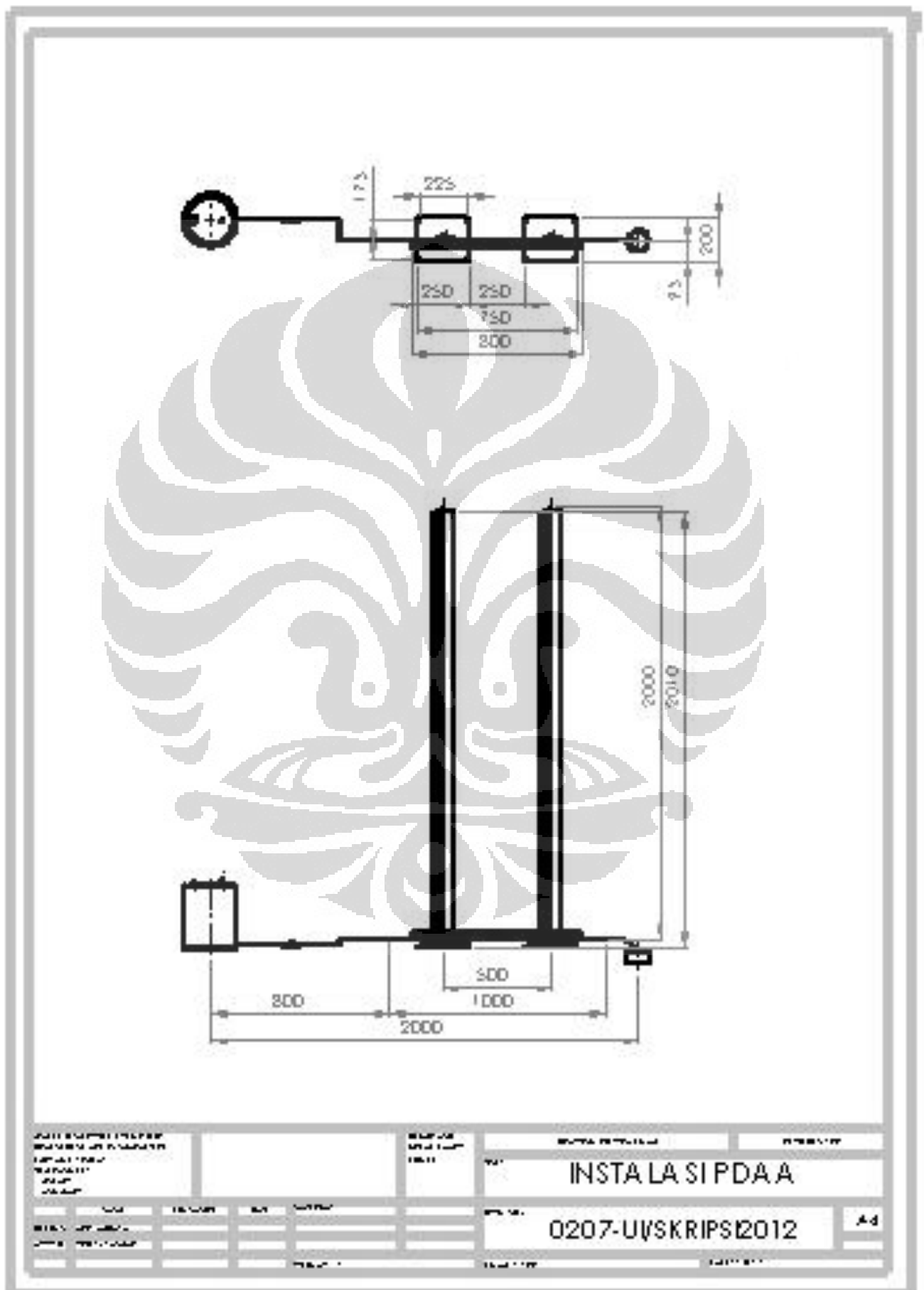
DAFTAR PUSTAKA

- 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

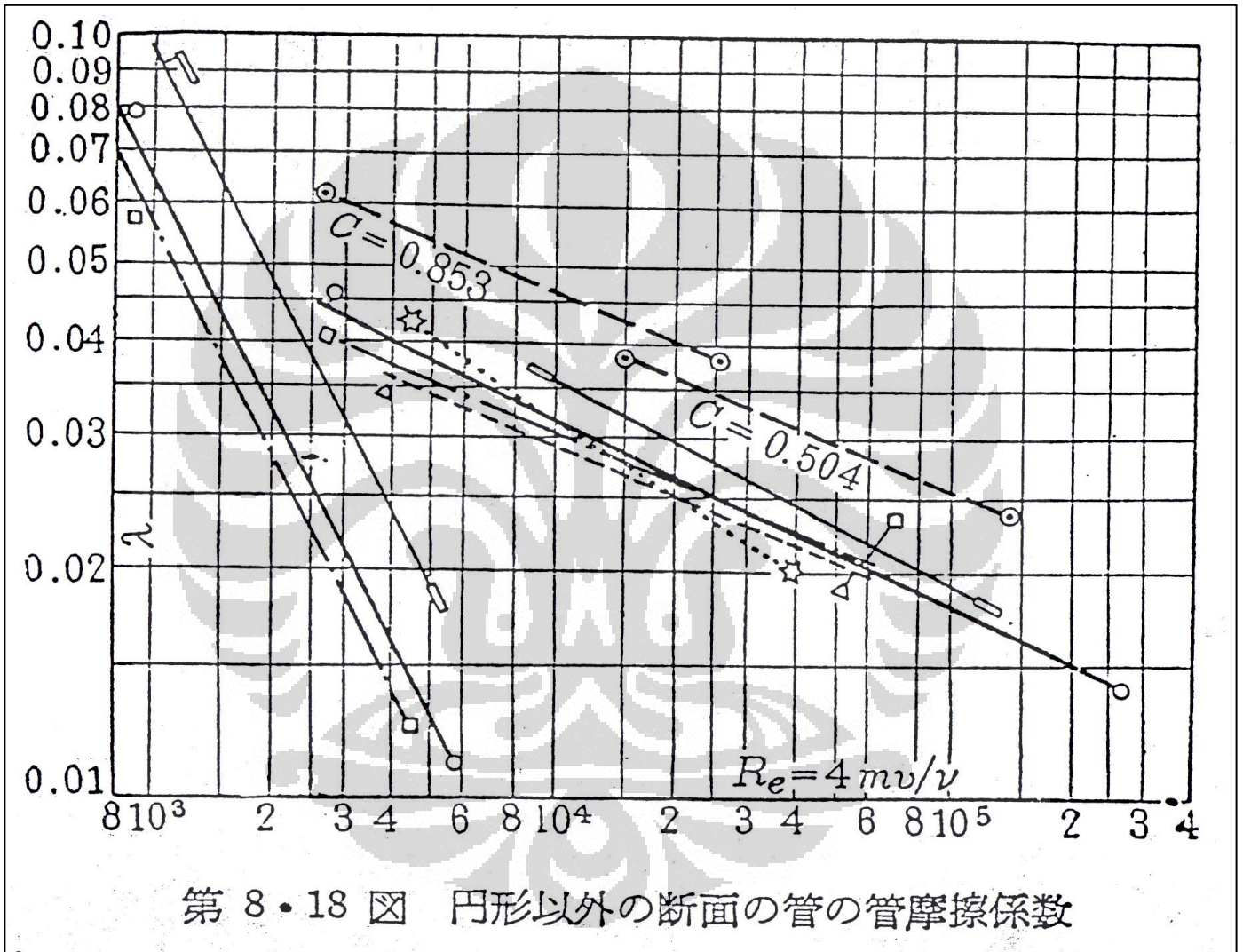
Lampiran 1. Gambar Teknik 3D Instalasi Alat



Lampiran 2. Gambar Teknik Proyeksi 2D Instalasi Alat



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.