



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA KERUGIAN JATUH TEKAN PADA PIPA BULAT
DIAMETER 2 MM (MILIMETER)**

SKRIPSI

**RIZKI RAHMADI PUTRA
0906605126**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA KERUGIAN JATUH TEKAN PADA PIPA BULAT
DIAMETER 2 MM (MILIMETER)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**RIZKI RAHMADI PUTRA
0906605126**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rizki Rahmadi Putra

NPM : 0906605126

Tanda Tangan : 

Tanggal : 3 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rizki Rahmadi Putra

NPM : 0906605126

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa Kerugian Jatuh Tekan Pada Pipa Bulat Diameter
2 mm

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, M.Sc (

Penguji 1 : Dr. Ir. Sunaryo M.Sc. (

Penguji 2 : Ir. Marcus Alberth Talahatu M.T. (

Penguji 3 : Ir. Hadi Tresno Wibowo (

Penguji 4 : Ir. Mukti Wibowo (

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 2012

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:

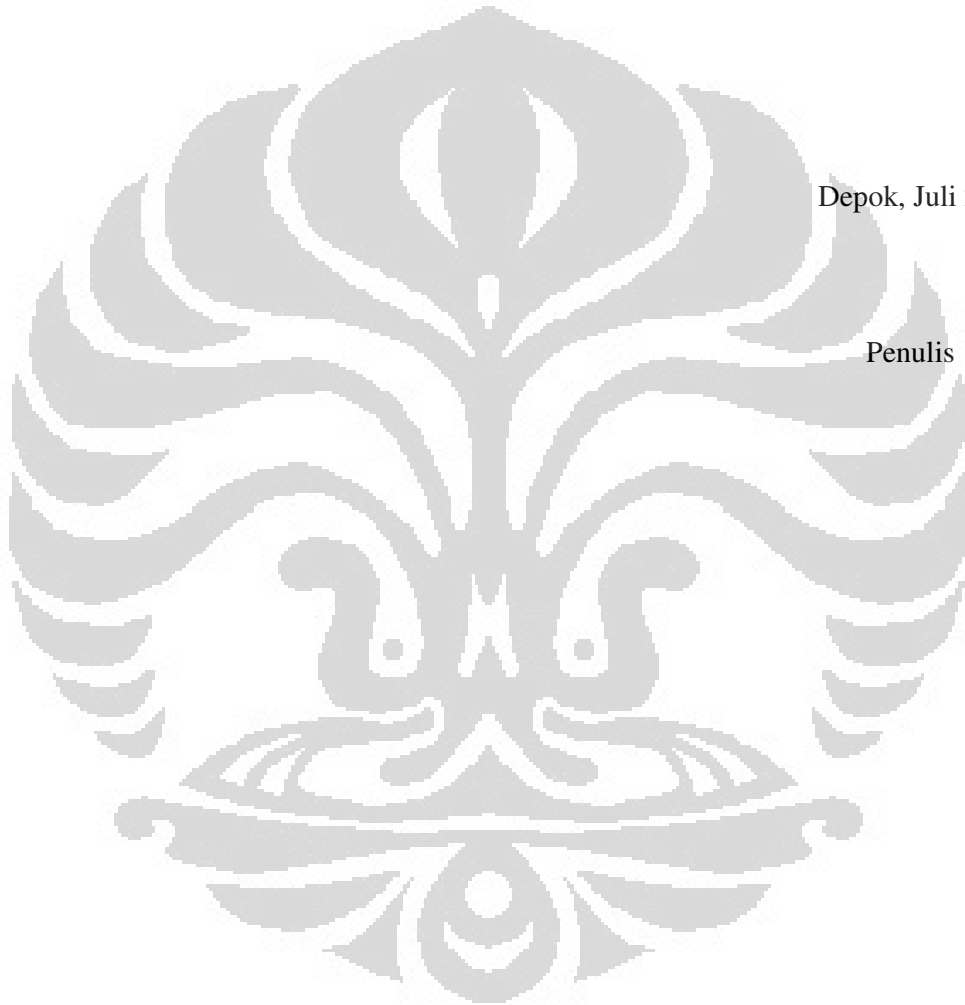
1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng Msc., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi arahan, bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Mas Gunawan dan Mas Baqi yang begitu sabar dan banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan 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. Istriku Ayu Wikaningtyas dan ke dua anakku Damia dan Alya , terimakasih atas dukungan dan doanya selalu. Skripsi ini aku pesembahkan untuk kalian.
5. Alm Papahku (Memed R Ismail), mamah (Nuraini H), ibu mertua (Kusmartini) dan bapak mertua (Harsodjo) , terimakasih atas dukungan dan doanya selalu.
6. Adik2ku Ayya dan Rafi, yang juga selalu mendoakan semua kegiatanku baik dalam bekerja dan melanjutkan kuliah.
7. Arif Hudaya dan Azmi Muntaqo, kalo gak ada mereka skripsi ini gak jadi kali yah, he.....

8. Teman kelasku angkatan 2009 seperjuangan, mudah2an ilmu kita akan bermanfaat buat kemajuan agama, bangsa dan negara.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk agama, bangsa dan negara Indonesia yang tercinta ini. Amin Ya Rob...

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 : Rizki Rahmadi Putra
NPM : 0906605126
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

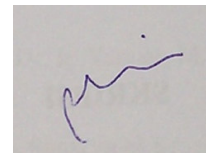
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISA KERUGIAN JATUH TEKAN PADA PIPA BULAT DIAMETER 2 MM (MILIMETER)

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,



(Rizki Rahmadi Putra)

ABSTRAK

Nama : Rizki Rahmadi Putra
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Kerugian Jatuh Tekan Pada Pipa Bulat Diameter 2 mm

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 bulat dengan $\varnothing$ 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

Nama : Rizki Rahmadi Putra
Program Studi : Mechanical Engineering
Judul Skripsi : Analysis of Losses Pressure Drop On Round Pipe
Diameter 2 mm

Pressure drop has a relevancy with the coefficient of friction and it's 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 round pipe with $\varnothing = 2$ 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
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 Kompresor.....	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.....	37
3.2.8 Pipa Penyalur.....	38
3.3 Prosedur Pengambilan Data.....	38

BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....	39
4.1 Perhitungan Data.....	39
4.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan.....	40
4.1.2 Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida.....	41
4.1.3 Perhitungan Friksi.....	43
4.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds.....	44
4.2 Analisis Data.....	45
 BAB 5 PENUTUP.....	 48
V.1. Kesimpulan.....	48
V.2. Saran.....	48
 DAFTAR PUSTAKA.....	 49
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

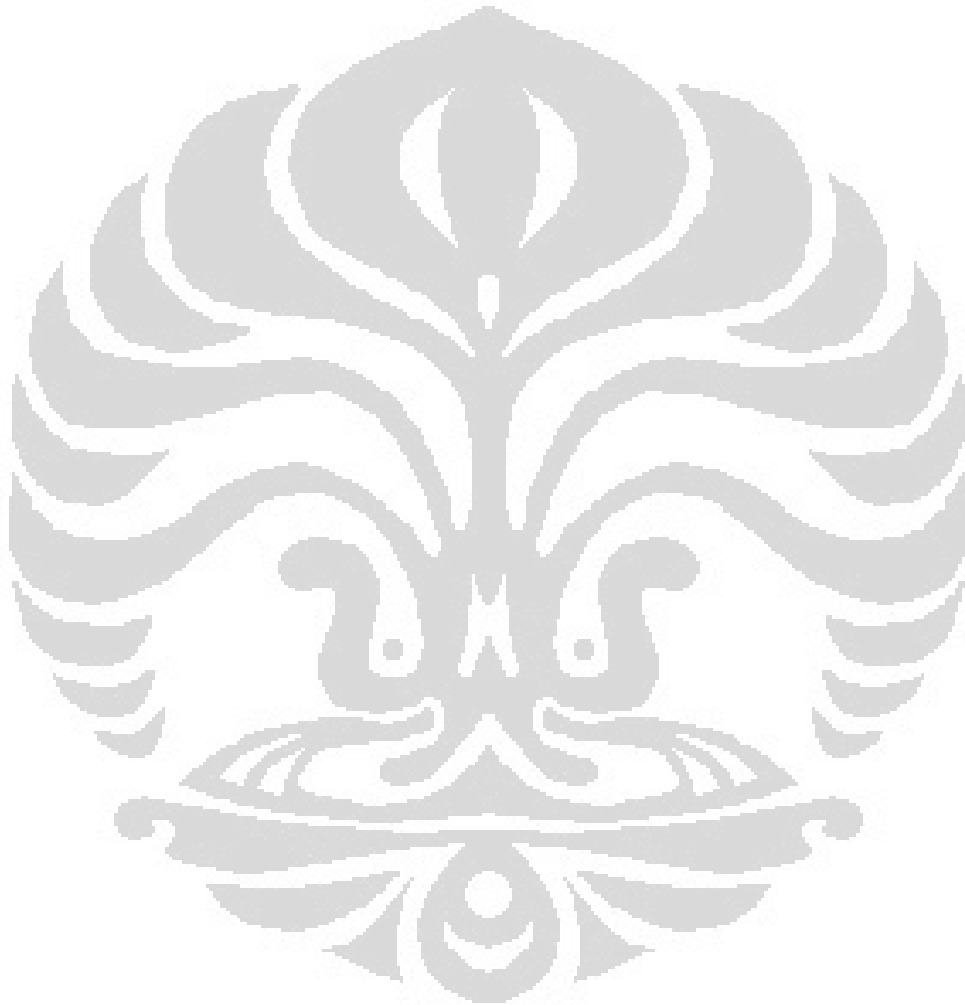
Gambar 2.1. Bagan klasifikasi aliran fluida.....	6
Gambar 2.2. Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian10	
Gambar 2.3. Distribusi Kecepatan bingham plastic fluid pada pipa	11
Gambar 2.4. Hubungan <i>shear stress</i> (τ) - <i>shear rate</i> (γ) pada thixotropic (a) dan rheopectic (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

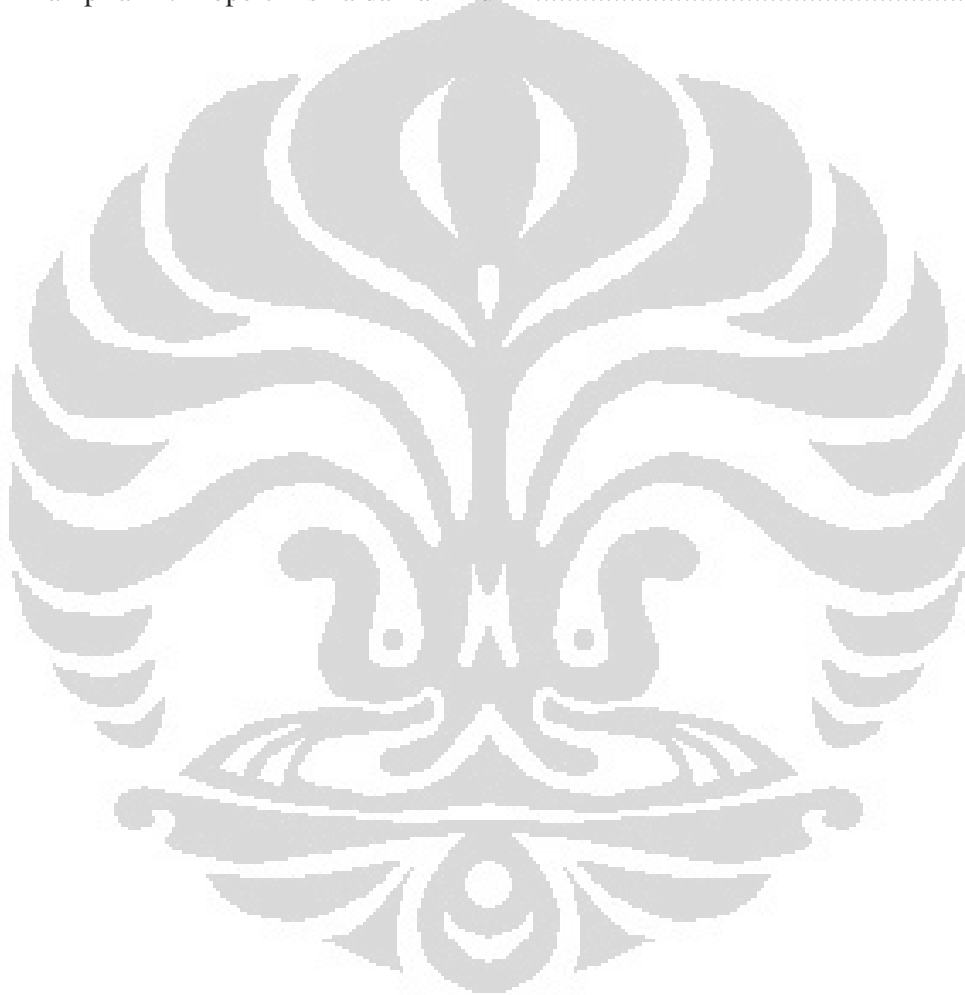
DAFTAR GRAFIK

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	51
Lampiran 2. Gambar Teknik Proyeksi 2D Instalasi Alat.....	52
Lampiran 3. Grafik hubungan koefisien gesek dan bilangan Reynolds pada beberapa bentuk pipa	53
Lampiran 4. Properti fisika dari air murni	54



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

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 bulat dan friksi (gesekan) yang terjadi yang terjadi pada pipa bulat dengan $\varnothing$ 2mm.

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 bulat lurus agar dapat mengetahui friksi (gesekan) dan pressure drop (tekanan jatuh) yang terjadi pada pipa tersebut.

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

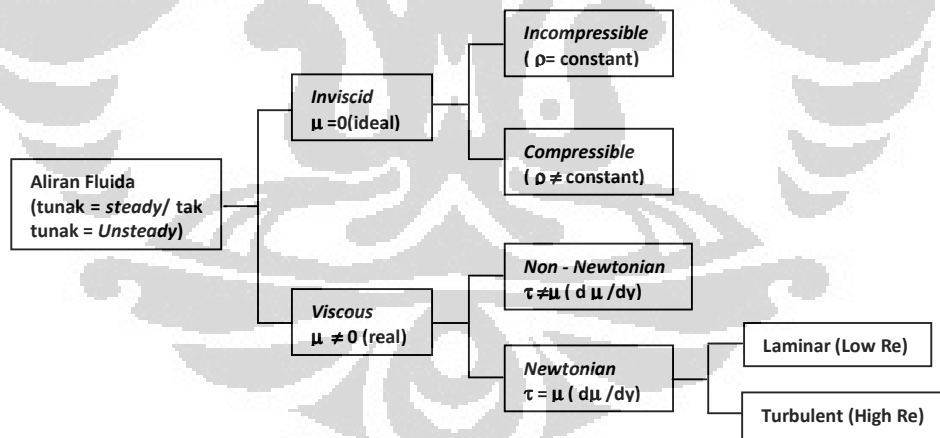
LANDASAN TEORI

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).

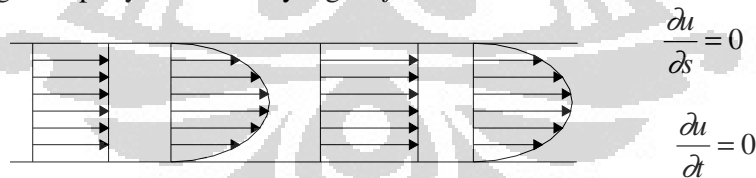
$$\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0$$

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

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

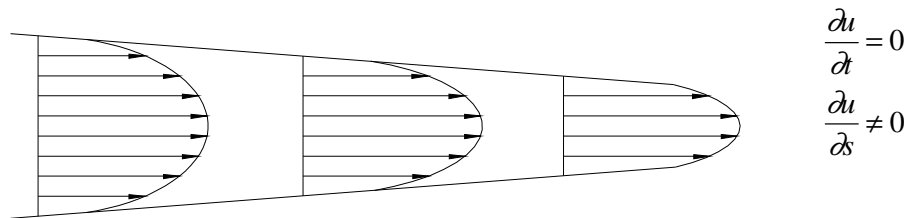
Dari keempat *type* aliran tersebut dapat terjadi 4 jenis kemungkinan aliran
Steady Uniform Flow

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 (kepadatan) 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 [m^3/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^3/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 :

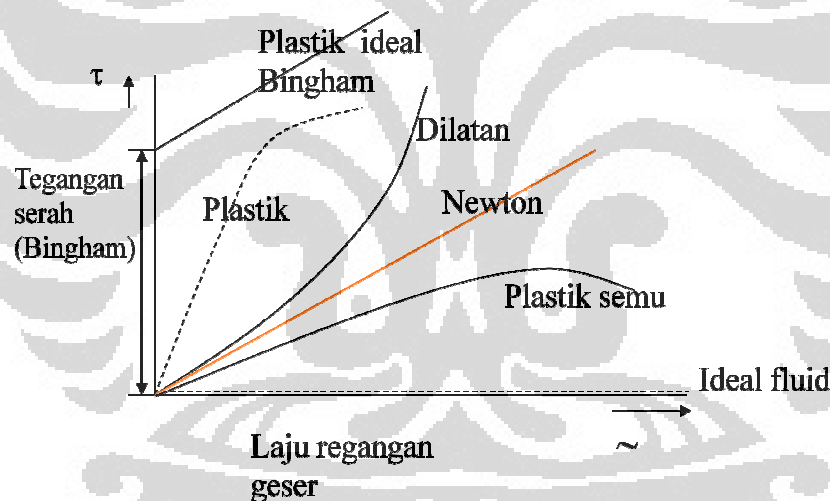
τ = Tegangan geser pada fluida

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*

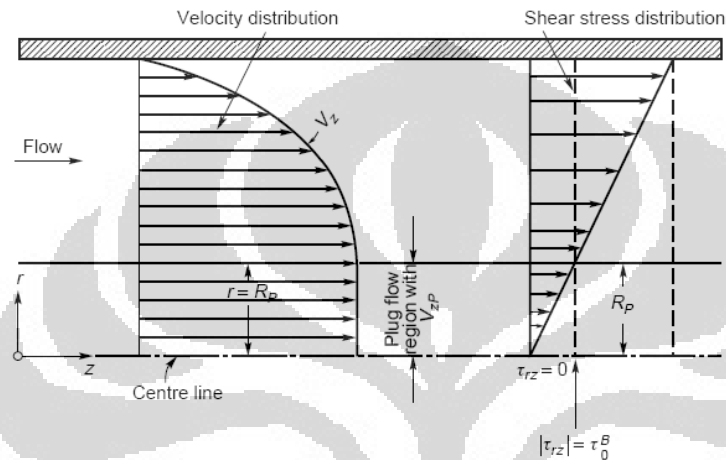
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viskositasnya sangat bergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

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

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 co-polymer* (PVP/PA). Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

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

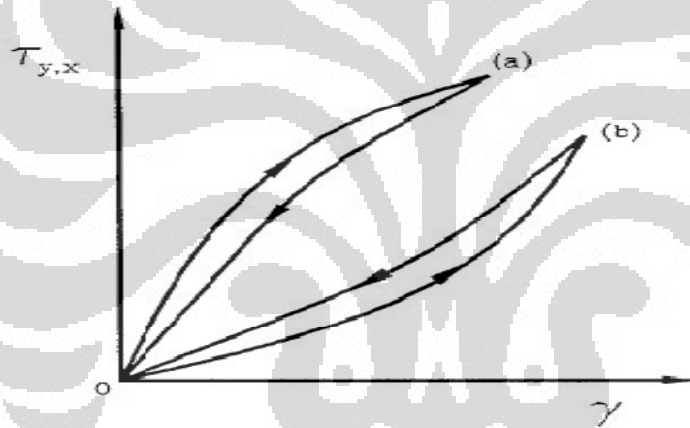
c) *Dilatant*

Dilatan 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/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°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°C	0.598

Kerapatan ditetapkan pada suhu 0°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 :

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

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

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*)

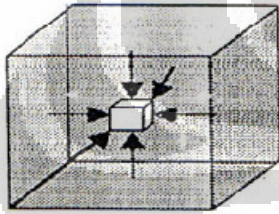
Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A, maka :

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

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

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

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

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 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

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

dimana :

Δp = perbedaan tekanan (mmHg)

ρ = kerapatan (kg/m³)

g = gravitasi (m/det²)

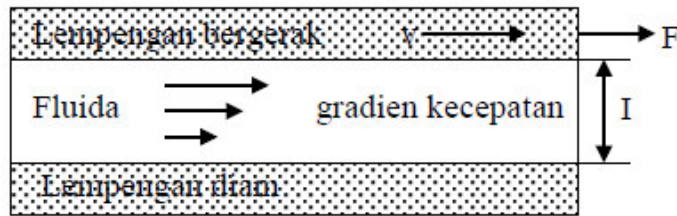
Δh = pertambahan kedalaman (m)

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 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 :

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

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/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 $\eta = FI/vA$. Satuan SI untuk η adalah $N.s/m^2 = Pa.s$ (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 :

$$E_p = W \cdot z \text{ [J]} \dots\dots\dots (2.20)$$

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 :

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \text{ [J]} \dots\dots\dots (2.21)$$

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 (EF), dirumuskan sebagai :

$$E_F = p \cdot A \cdot l \text{ [J]} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

p = tekanan yang dialami oleh fluida (N/m²)

A = luas penampang aliran (m²)

L = panjang pipa (m)

Basarnya energi tekanan, dapat juga dirumuskan sebagai berikut :

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

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

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

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

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 :

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

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

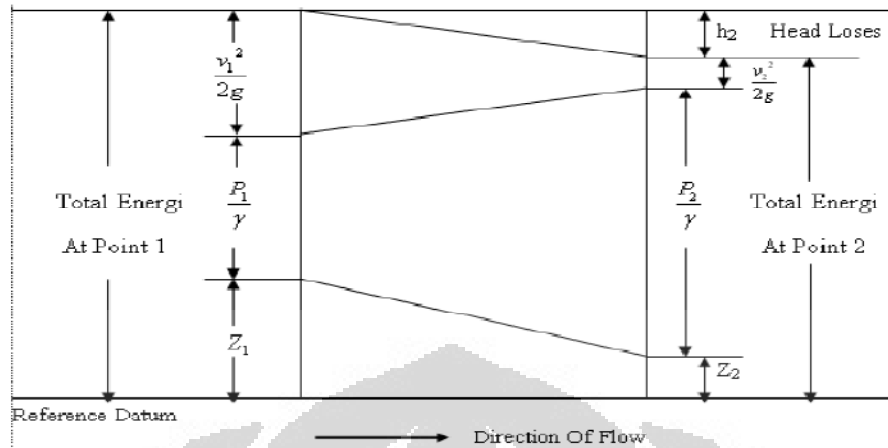
γ = berat jenis fluida

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 inkompressibel 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 :

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

Dimana :

hf = kerugian head karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

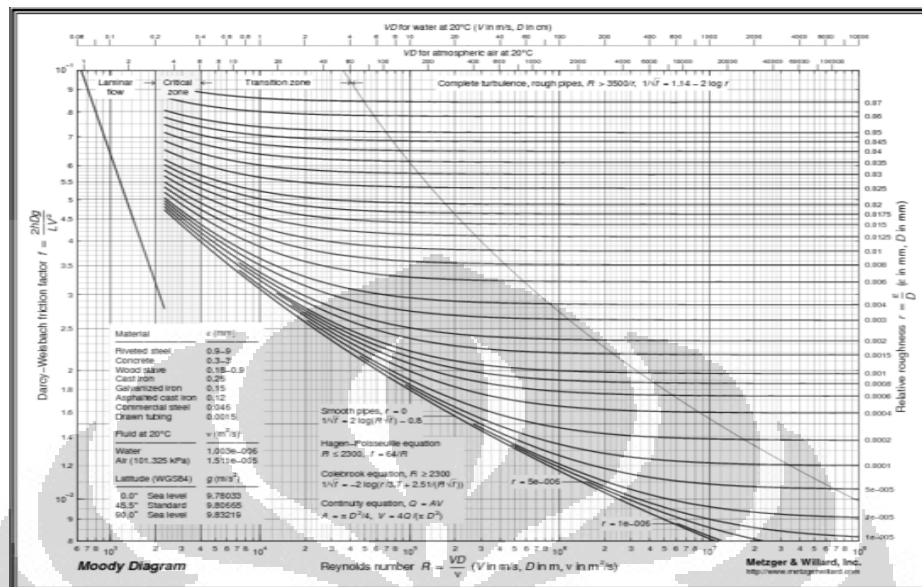
d = diameter dalam pipa (m)

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	0.00005	0.015
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 :

h_f = 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 :

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

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.

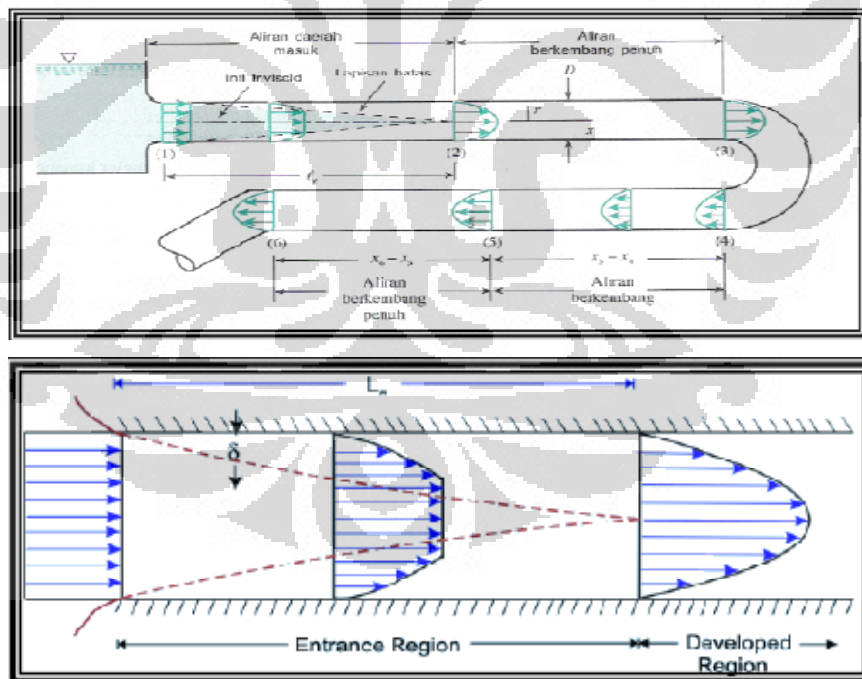
2.7 Aliran Laminar dan Turbulen

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 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 :

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

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 :

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

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 :

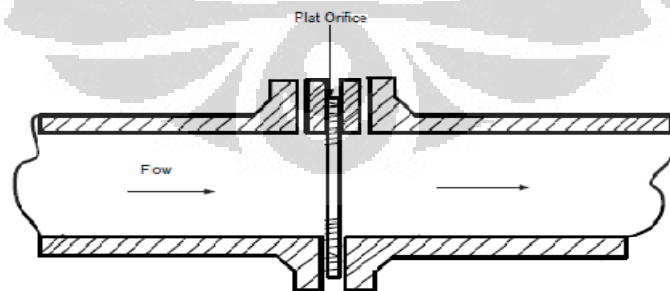
1. Flange Taps
2. Vena Contracta Taps
3. Pipe Taps
4. Corner Taps

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 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 Maksimuim 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

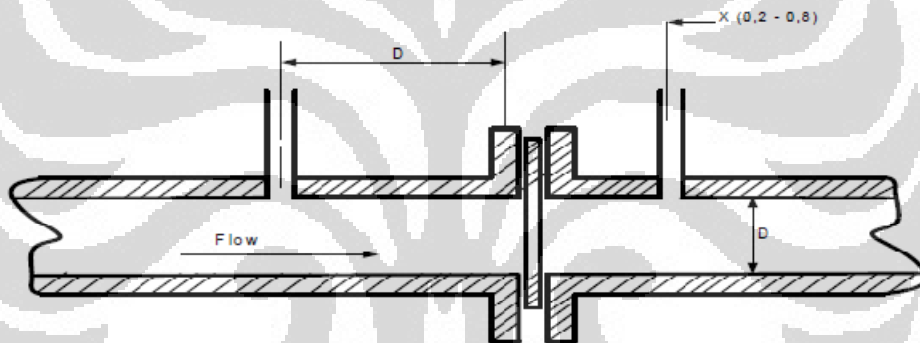


Gambar 2.10 Flange Taps

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-

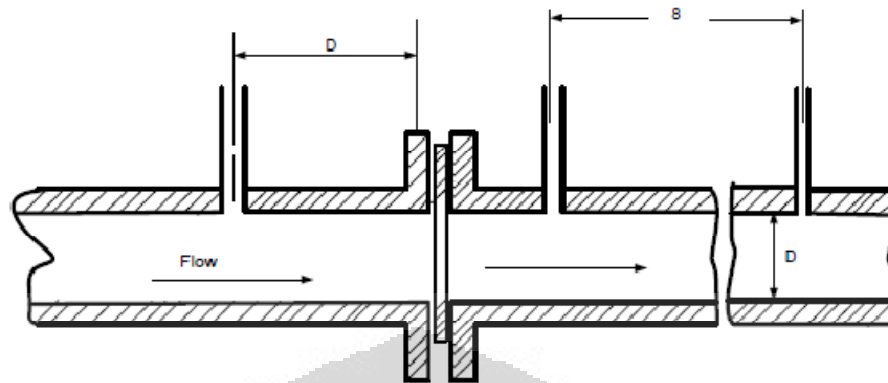
lubang up-stream orifice atau lubang awal jarak penempatan dari lubangnya terhadap plat orifice itu sendiri adalah sama dengan besar diameter dari pipa aliran yang digunakan. Sedangkan untuk lubang *down stream orifice* atau lubang sesudah plat orifice ditempatkan pada titik dimana tekanan terendah dari 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

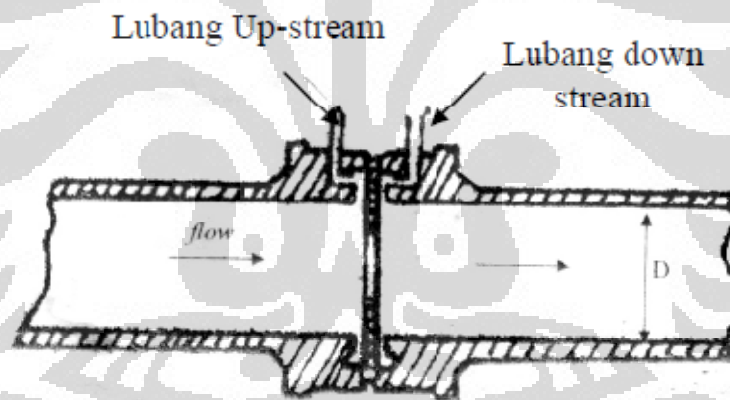
Pada tipe pipe taps ini, lubang-lubang pengambilan beda tekanan berbeda antara lubang *up-stream orifice* dengan lubang *down stream*. Beda lubang up-stream ditempatkan pada jarak 2,5 kali dari besar diameter pipa aliran yang digunakan yang diukur dari sisi *up-stream orifice*. Sedangkan pada lubang *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. 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 yang digunakan ini cukup sederhana, dimana alat uji adalah sebuah pipa kecil berpenampang bulat dengan $\varnothing$ 2 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 bulat) 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 bulat dilubangi kemudian dibuatkan saluran selang kecil sebagai manometer.

3.2 Peralatan Pendukung

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

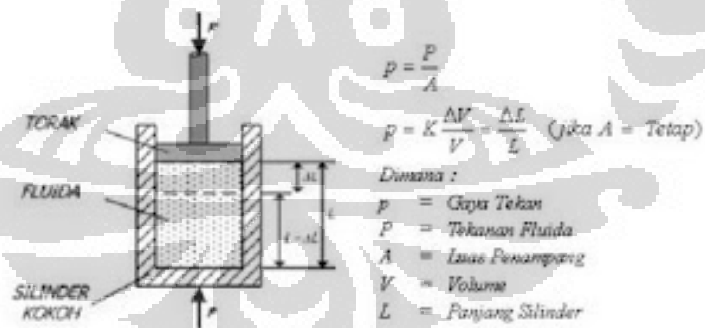
3.1.1 Kompresor

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 3.1 Gambar 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 3.2 Kompresi Fluida

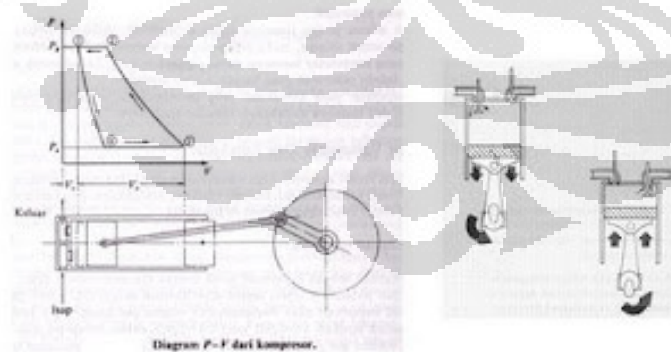
Disini digunakan torak yang bergerak bolak balik oleh sebuah penggerak mula (prime mover) didalam sebuah silinder untuk menghisap, menekan dan mengeluarkan udara secara berulang-ulang. Dalam hal ini udara tidak boleh bocor

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.

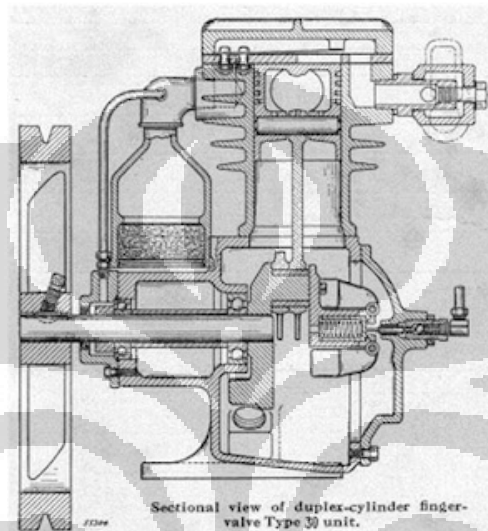
Berdasarkan prinsip kerjanya, kompressor terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu Displacement (torak) seperti dijelaskan diatas dan Dynamic (rotary) yang mengalirkan udara melalui putaran sudu berkecepatan tinggi. Proses kompresi udara yang terjadi pada kompressor torak dapat dijelaskan dengan menggunakan pendekatan 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 3.3 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 vacuum, sehingga tidak terjadinya vacuum di dalam kartel. Kemudian udara yang vacuum di silinder keluar melalui pipa vacuum.



Gambar 3.4 Potongan Melintang Kompresor Torak

3.1.2 Tangki Air

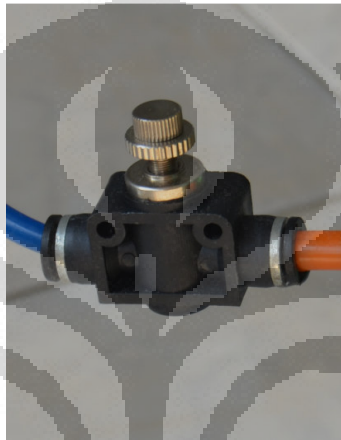
Tangki air berfungsi untuk menampung fluida yang akan di uji. Fluida yang mengalir melalui pipa saluran akan kembali ke tangki melalui keluaran pipa.



Gambar 3.5 Tangki Air

3.1.3 Valve/Katup

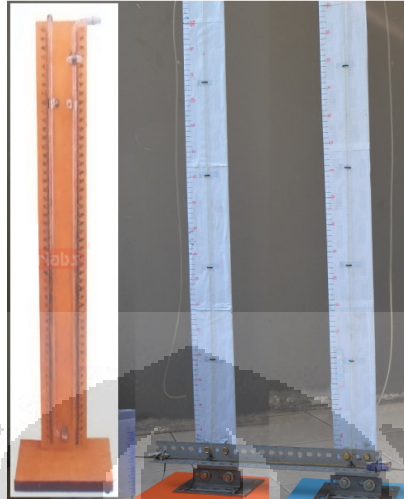
Valve/Katup ini digunakan untuk mengatur jumlah debit yang mengalir. Jenis valve yang digunakan adalah katub ulir . Tujuannya agar dapat diatur variasi pembukaan yang sangat banyak,



Gambar 3.6 Valve dengan Katub ulir

3.1.4 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 3.7 Manometer

3.1.5 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 terliti, 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 3.8 Termometer Air Raksa

3.1.6 Gelas Ukur

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



Gambar 3.9 Gelas Ukur

3.1.7 Stopwatch

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



Gambar 3.10 Stopwatch

3.1.8 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.

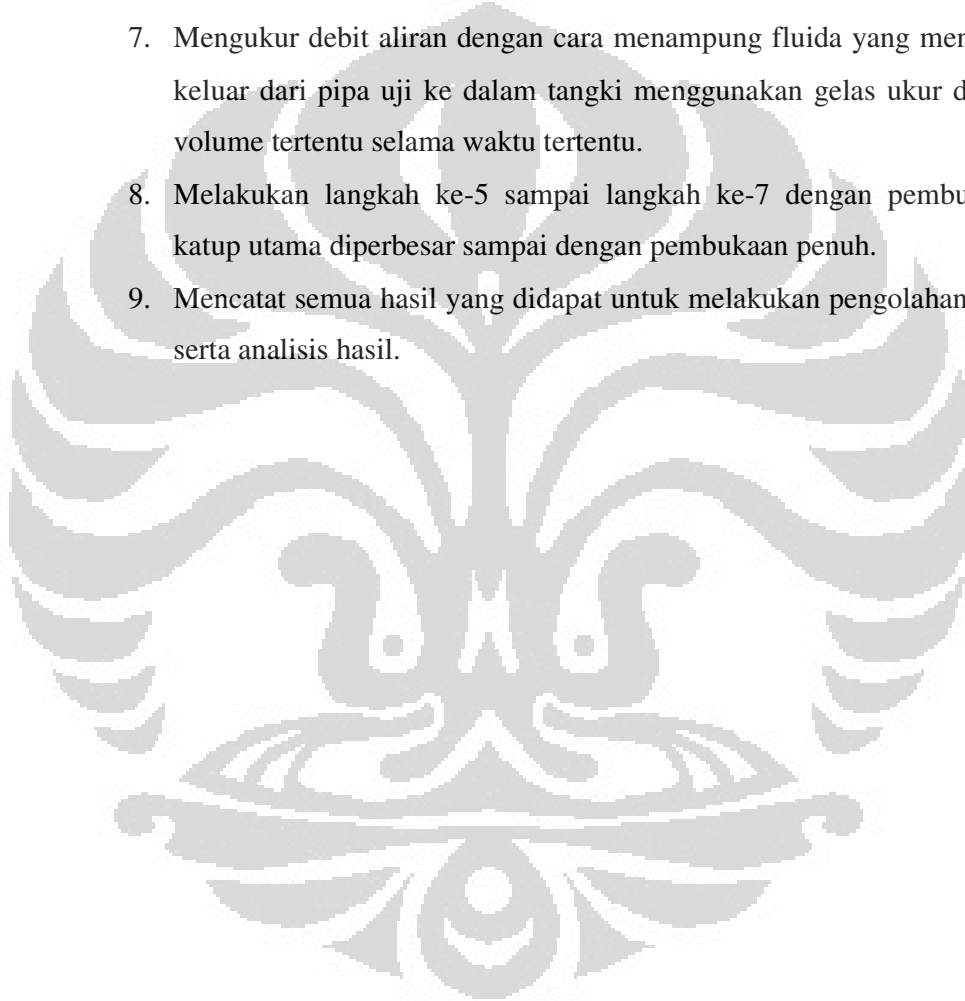
3.2 Prosedur Pengambilan Data

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 tangki 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 tangki storage, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran hingga alirannya stabil.
5. Melihat temperatur pada termometer yang dipasang pada tangki.
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 tangki 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	444	123	321	0,3210	82,35
2	468	134	334	0,3340	80,50
3	493	145	348	0,3480	77,05
4	519	156	363	0,3630	74,01
5	546	168	378	0,3780	70,89
6	574	181	393	0,3930	55,76
7	603	194	409	0,4090	51,77
8	633	207	426	0,4260	47,41
9	664	221	443	0,4430	43,79
10	696	236	460	0,4600	38,89
11	729	251	478	0,4780	34,12
12	763	266	497	0,4970	31,75
13	798	282	516	0,5160	27,67
14	834	299	535	0,5350	33,50
15	871	316	555	0,5550	28,49
16	948	351	597	0,5970	22,30
17	988	370	618	0,6180	18,54
18	1071	408	663	0,6630	12,80
19	1203	470	733	0,7330	8,23
20	1296	513	783	0,7830	7,66
21	1546	631	915	0,9150	7,09
22	1653	681	972	0,9720	6,52
23	1708	707	1001	1,0010	5,95
24	2181	927	1254	1,2540	5,38

Bukaan Katup	h1 (mm)	h2 (mm)	Δh (mm)	Δh (m)	t (s)
25	2669	1151	1518	1,5180	4,81
26	2791	1207	1584	1,5840	4,24
27	4438	1963	2475	2,4750	3,67
28	5475	2439	3036	3,0360	3,30
29	6390	2859	3531	3,5310	2,93
30	7244	3251	3993	3,9930	2,66
31	8464	3811	4653	4,6530	2,49
32	9684	4371	5313	5,3130	2,32
33	11087	5015	6072	6,0720	2,15

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	321,00	0,3210	3135,47
2	334,00	0,3340	3262,45
3	348,00	0,3480	3399,20
4	363,00	0,3630	3545,72
5	378,00	0,3780	3692,23
6	393,00	0,3930	3838,75
7	409,00	0,4090	3995,04
8	426,00	0,4260	4161,09
9	443,00	0,4430	4327,14
10	460,00	0,4600	4493,20
11	478,00	0,4780	4669,02
12	497,00	0,4970	4854,61
13	516,00	0,5160	5040,19
14	535,00	0,5350	5225,78
15	555,00	0,5550	5421,14
16	597,00	0,5970	5831,39
17	618,00	0,6180	6036,51
18	663,00	0,6630	6476,06
19	733,00	0,7330	7159,81
20	783,00	0,7830	7648,20
21	915,00	0,9150	8937,55
22	972,00	0,9720	9494,32
23	1001,00	1,0010	9777,58
24	1254,00	1,2540	12248,84

Bukaan Katup	Δh (mm)	Δh (m)	ΔP (Pa)
25	1518,00	1,5180	14827,55
26	1584,00	1,5840	15472,22
27	2475,00	2,4750	24175,35
28	3036,00	3,0360	29655,09
29	3531,00	3,5310	34490,16
30	3993,00	3,9930	39002,89
31	4653,00	4,6530	45449,65
32	5313,00	5,3130	51896,41
33	6072,00	6,0720	59310,18

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	82,35	100	0,1	0,00010	1,21433E-06
2	80,50	100	0,1	0,00010	1,24224E-06
3	77,05	100	0,1	0,00010	1,29786E-06
4	74,01	100	0,1	0,00010	1,35117E-06
5	70,89	100	0,1	0,00010	1,41064E-06
6	55,76	100	0,1	0,00010	1,7934E-06
7	51,77	100	0,1	0,00010	1,93162E-06
8	47,41	100	0,1	0,00010	2,10926E-06
9	43,79	100	0,1	0,00010	2,28363E-06
10	38,89	100	0,1	0,00010	2,57136E-06
11	34,12	100	0,1	0,00010	2,93083E-06
12	31,75	100	0,1	0,00010	3,14961E-06
13	27,67	100	0,1	0,00010	3,61402E-06
14	33,50	100	0,1	0,00010	2,98507E-06
15	28,49	100	0,1	0,00010	3,51E-06
16	22,30	100	0,1	0,00010	4,4843E-06
17	18,54	100	0,1	0,00010	5,39374E-06
18	12,80	100	0,1	0,00010	7,8125E-06
19	8,23	100	0,1	0,00010	1,21507E-05
20	7,66	100	0,1	0,00010	1,30548E-05
21	7,09	100	0,1	0,00010	1,41044E-05
22	6,52	100	0,1	0,00010	1,53374E-05
23	5,95	100	0,1	0,00010	1,68067E-05
24	5,38	100	0,1	0,00010	1,85874E-05
25	4,81	100	0,1	0,00010	2,079E-05
26	4,24	100	0,1	0,00010	2,35849E-05
27	3,67	100	0,1	0,00010	2,7248E-05
28	3,30	100	0,1	0,00010	3,0303E-05
29	2,93	100	0,1	0,00010	3,41297E-05
30	2,66	100	0,1	0,00010	3,7594E-05
31	2,49	100	0,1	0,00010	4,01606E-05
32	2,32	100	0,1	0,00010	4,31034E-05
33	2,15	100	0,1	0,00010	4,65116E-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	0,00000314	1,2143E-06	0,38673
2	0,002	0,00000314	1,2422E-06	0,39562
3	0,002	0,00000314	1,2979E-06	0,41333
4	0,002	0,00000314	1,3512E-06	0,43031
5	0,002	0,00000314	1,4106E-06	0,44925
6	0,002	0,00000314	1,7934E-06	0,57115
7	0,002	0,00000314	1,9316E-06	0,61517
8	0,002	0,00000314	2,1093E-06	0,67174
9	0,002	0,00000314	2,2836E-06	0,72727
10	0,002	0,00000314	2,5714E-06	0,81890
11	0,002	0,00000314	2,9308E-06	0,93339
12	0,002	0,00000314	3,1496E-06	1,00306
13	0,002	0,00000314	3,614E-06	1,15096
14	0,002	0,00000314	2,9851E-06	0,95066
15	0,002	0,00000314	3,51E-06	1,11784
15	0,002	0,00000314	4,4843E-06	1,42812
15	0,002	0,00000314	5,3937E-06	1,71775
15	0,002	0,00000314	7,8125E-06	2,48806
15	0,002	0,00000314	1,2151E-05	3,86964
15	0,002	0,00000314	1,3055E-05	4,15759
15	0,002	0,00000314	1,4104E-05	4,49184
15	0,002	0,00000314	1,5337E-05	4,88453
15	0,002	0,00000314	1,6807E-05	5,35246
15	0,002	0,00000314	1,8587E-05	5,91954
15	0,002	0,00000314	2,079E-05	6,62103
15	0,002	0,00000314	2,3585E-05	7,51112
15	0,002	0,00000314	2,7248E-05	8,67769
15	0,002	0,00000314	3,0303E-05	9,65065
15	0,002	0,00000314	3,413E-05	10,86933
15	0,002	0,00000314	3,7594E-05	11,97261
15	0,002	0,00000314	4,0161E-05	12,79001
15	0,002	0,00000314	4,3103E-05	13,72721
15	0,002	0,00000314	4,6512E-05	14,81262

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 $A = s^2$

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	0,3210	3135,47	0,002	0,5	0,38673	0,16844
2	0,3340	3262,45	0,002	0,5	0,39562	0,16748
3	0,3480	3399,20	0,002	0,5	0,41333	0,15986
4	0,3630	3545,72	0,002	0,5	0,43031	0,15385
5	0,3780	3692,23	0,002	0,5	0,44925	0,14699
6	0,3930	3838,75	0,002	0,5	0,57115	0,09455
7	0,4090	3995,04	0,002	0,5	0,61517	0,08482
8	0,4260	4161,09	0,002	0,5	0,67174	0,07409
9	0,4430	4327,14	0,002	0,5	0,72727	0,06573
10	0,4600	4493,20	0,002	0,5	0,81890	0,05383
11	0,4780	4669,02	0,002	0,5	0,93339	0,04306
12	0,4970	4854,61	0,002	0,5	1,00306	0,03877
13	0,5160	5040,19	0,002	0,5	1,15096	0,03057
14	0,5350	5225,78	0,002	0,5	0,95066	0,04646
15	0,5550	5421,14	0,002	1,5	1,11784	0,01162
16	0,5970	5831,39	0,002	2,5	1,42812	0,00459
17	0,6180	6036,51	0,002	3,5	1,71775	0,00235
18	0,6630	6476,06	0,002	4,5	2,48806	0,00093
19	0,7330	7159,81	0,002	5,5	3,86964	0,00035
20	0,7830	7648,20	0,002	6,5	4,15759	0,00027
21	0,9150	8937,55	0,002	7,5	4,49184	0,00024
22	0,9720	9494,32	0,002	8,5	4,88453	0,00019
23	1,0010	9777,58	0,002	9,5	5,35246	0,00014
24	1,2540	12248,84	0,002	10,5	5,91954	0,00013
25	1,5180	14827,55	0,002	11,5	6,62103	0,00012
26	1,5840	15472,22	0,002	12,5	7,51112	0,00009
27	2,4750	24175,35	0,002	13,5	8,67769	0,00010
28	3,0360	29655,09	0,002	14,5	9,65065	0,00009
29	3,5310	34490,16	0,002	15,5	10,86933	0,00008
30	3,9930	39002,89	0,002	16,5	11,97261	0,00007
31	4,6530	45449,65	0,002	17,5	12,79001	0,00006
32	5,3130	51896,41	0,002	18,5	13,72721	0,00006
33	6,0720	59310,18	0,002	19,5	14,81262	0,00006

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)	v (m/s)	ν (m ² /s)	Re
1	26,50	0,0007975	0,002	0,38673	8,00944E-07	965,68294
2	26,50	0,0007975	0,002	0,39562	8,00944E-07	987,87565
3	26,50	0,0007975	0,002	0,41333	8,00944E-07	1032,10889
4	26,50	0,0007975	0,002	0,43031	8,00944E-07	1074,50331
5	26,50	0,0007975	0,002	0,44925	8,00944E-07	1121,79419
6	26,50	0,0007975	0,002	0,57115	8,00944E-07	1426,18347
7	26,50	0,0007975	0,002	0,61517	8,00944E-07	1536,10180
8	26,50	0,0007975	0,002	0,67174	8,00944E-07	1677,36744
9	26,50	0,0007975	0,002	0,72727	8,00944E-07	1816,03083
10	26,50	0,0007975	0,002	0,81890	8,00944E-07	2044,84418
11	26,50	0,0007975	0,002	0,93339	8,00944E-07	2330,71484
12	26,50	0,0007975	0,002	1,00306	8,00944E-07	2504,69260
13	26,50	0,0007975	0,002	1,15096	8,00944E-07	2874,01482
14	26,50	0,0007975	0,002	0,95066	8,00944E-07	2373,85045
15	26,50	0,0007975	0,002	1,11784	8,00944E-07	2791,29485
16	26,50	0,0007975	0,002	1,42812	8,00944E-07	3566,09821
17	26,50	0,0007975	0,002	1,71775	8,00944E-07	4289,31986
18	26,50	0,0007975	0,002	2,48806	8,00944E-07	6212,81173
19	26,50	0,0007975	0,002	3,86964	8,00944E-07	9662,69625
20	26,50	0,0007975	0,002	4,15759	8,00944E-07	10381,72196
21	26,50	0,0007975	0,002	4,49184	8,00944E-07	11216,35969
22	26,50	0,0007975	0,002	4,88453	8,00944E-07	12196,93101
23	26,50	0,0007975	0,002	5,35246	8,00944E-07	13365,37650
24	26,50	0,0007975	0,002	5,91954	8,00944E-07	14781,41081
25	26,50	0,0007975	0,002	6,62103	8,00944E-07	16533,05409
26	26,50	0,0007975	0,002	7,51112	8,00944E-07	18755,65806
27	26,50	0,0007975	0,002	8,67769	8,00944E-07	21668,66217
28	26,50	0,0007975	0,002	9,65065	8,00944E-07	24098,17884
29	26,50	0,0007975	0,002	10,86933	8,00944E-07	27141,29358
30	26,50	0,0007975	0,002	11,97261	8,00944E-07	29896,23691
31	26,50	0,0007975	0,002	12,79001	8,00944E-07	31937,34545
32	26,50	0,0007975	0,002	13,72721	8,00944E-07	34277,58197
33	26,50	0,0007975	0,002	14,81262	8,00944E-07	36987,90241

Dengan :

- T = Temperatur fluida dalam suhu ruang (°C)
 s-in = Lebar sisi dalam pipa kotak sama sisi (m)
 v = Kecepatan aliran fluida (m/s²)
 μ = Viskositas Dinamik Air (kg/m s)

ν = Viskositas kinematis (m^2/s)

Re = bilangan Reynolds

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

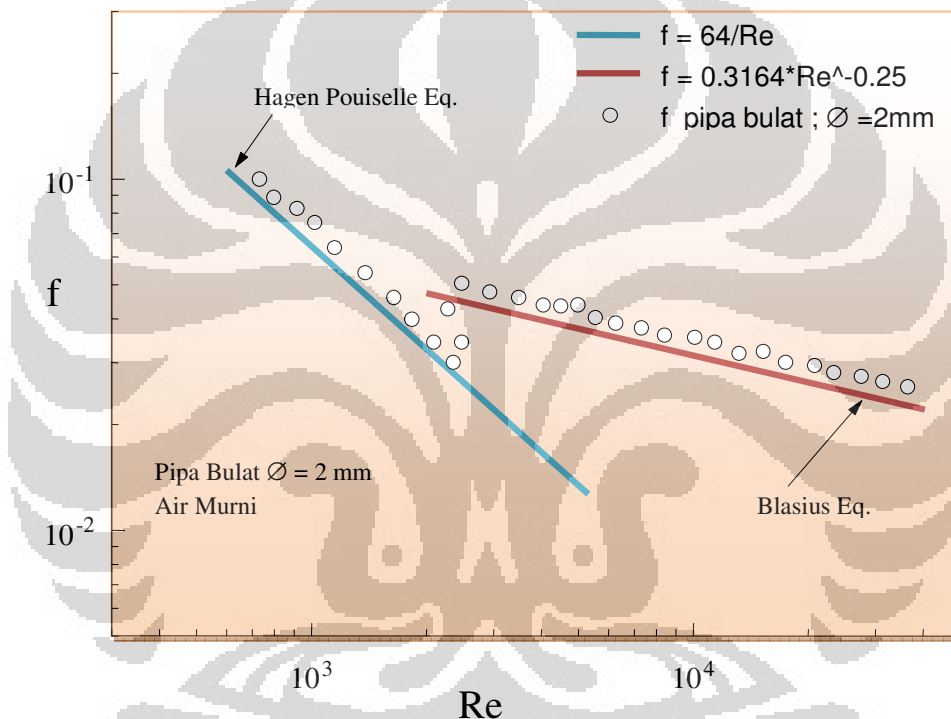
4.2 Analisis Data

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.

Bukaan Katup	f	Re	$f = 64/\text{Re}$	$f = \frac{0,316}{\text{Re}^{0.25}}$	Golongan Aliran
1	0,16844	965,68294	0,06524		Laminer
2	0,16748	987,87565	0,06377		Laminer
3	0,15986	1032,10889	0,06104		Laminer
4	0,15385	1074,50331	0,05863		Laminer
5	0,14699	1121,79419	0,05616		Laminer
6	0,09455	1426,18347	0,04417		Laminer
7	0,08482	1536,10180	0,04101		Laminer
8	0,07409	1677,36744	0,03756		Laminer
9	0,06573	1816,03083	0,03469		Laminer
10	0,05383	2044,84418	0,03081		Laminer
11	0,04306	2330,71484	0,02703		Laminer
12	0,08749	2504,69260	0,02515		Laminer
13	0,08513	2874,01482	0,02192		Laminer
14	0,08277	2373,85045	0,02654		Laminer
15	0,08041	2791,29485			Transisi
16	0,07805	3566,09821			Transisi
17	0,07568	4289,31986			Transisi
18	0,07332	6212,81173		0,03564	Turbulen
19	0,07096	9662,69625		0,03191	Turbulen
20	0,06860	10381,72196		0,03135	Turbulen
21	0,06624	11216,35969		0,03074	Turbulen
22	0,06388	12196,93101		0,03011	Turbulen
23	0,06152	13365,37650		0,02943	Turbulen
24	0,05916	14781,41081		0,02870	Turbulen
25	0,05680	16533,05409		0,02790	Turbulen
26	0,05444	18755,65806		0,02704	Turbulen
27	0,05208	21668,66217		0,02608	Turbulen
28	0,04971	24098,17884		0,02539	Turbulen
29	0,04735	27141,29358		0,02465	Turbulen
30	0,04499	29896,23691		0,02406	Turbulen
31	0,04263	31937,34545		0,02367	Turbulen
32	0,04027	34277,58197		0,02325	Turbulen
33	0,03791	36987,90241		0,02282	Turbulen

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

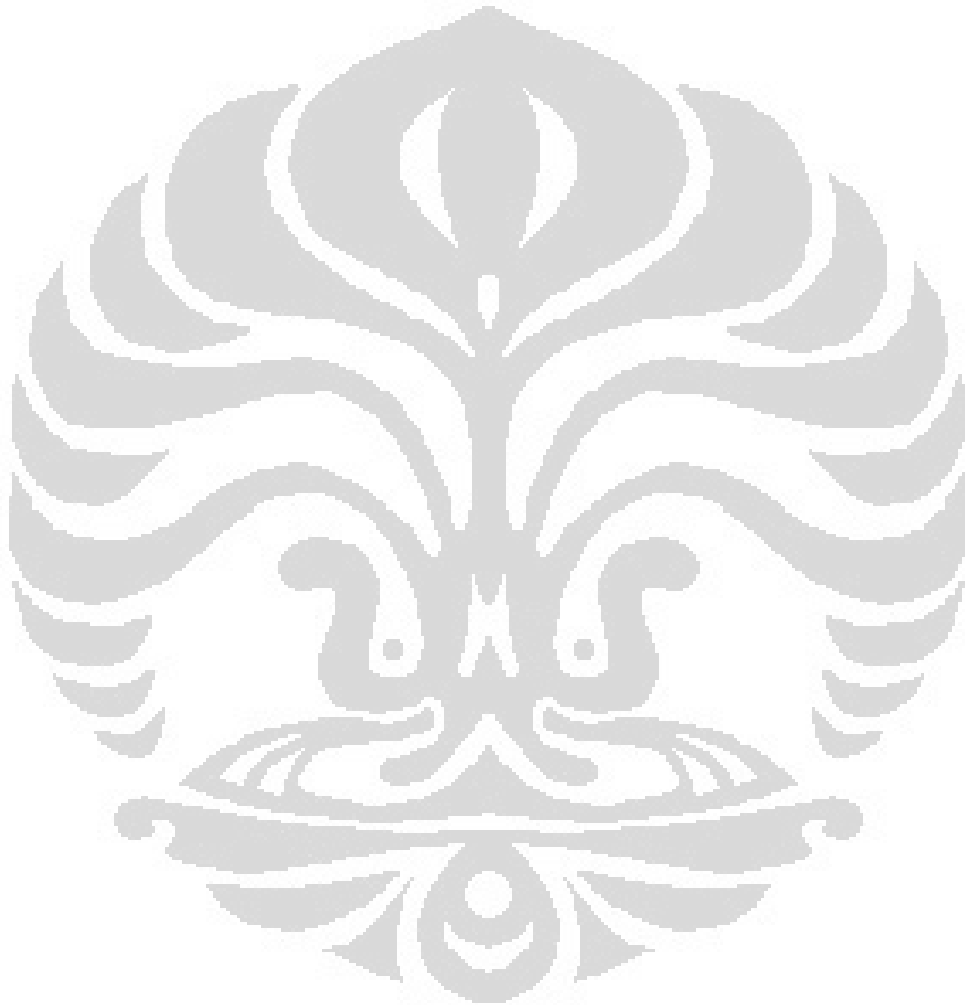
Dari table kita mengetahui bahwa ada Bilangan Reynolds untuk aliran laminar dan turbulen. Untuk aliran laminar ($Re < 2000$) kita menggunakan persamaan $f = \frac{64}{Re}$, sedangkan untuk aliran turbulen ($Re > 2000$) kita menggunakan persamaan $f = 0.3164 Re^{-0.25}$. Dan sebagaimana hasil yang diperoleh 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 $f = 0.3164 * Re^{-0.25}$.

Jelas hal demikian yang terjadi karena $f = 64/Re$ dan $f = 0.3164*Re^{-0.25}$ 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 bulat ini didapati nilai friksi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan friksi laju aliran pada pipa berpenampang kotak

5.2 SARAN

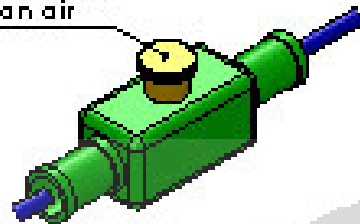
Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

- Data-data yang di ambil pada saat pengujian akan lebih akurat apabila menggunakan peralatan kalibrasi (manometer) yang lebih sensitif atau presisi. Juga dibutuhkan kompressor 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 lebih tinggi dari kompressor
- 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

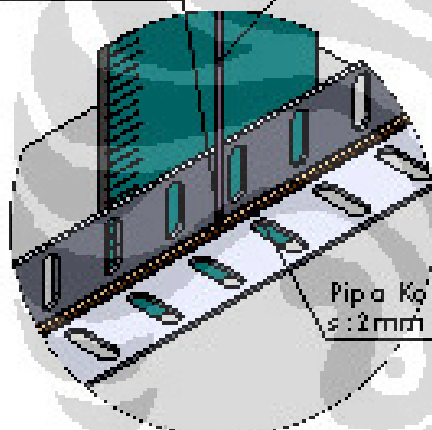
Valve ulir
untuk mengatur
laju aliran air



DETAIL A
SCALE 1 : 1

Pipa Manometer
disambung dengan
cara taps

Pipa Manometer



Pipa Kotak
s : 2mm

DETAIL B
SCALE 1 : 2



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
KAWASAN
PERTANAIAN
KEMAHIRAN

REVISI
NO
REVISI
NO

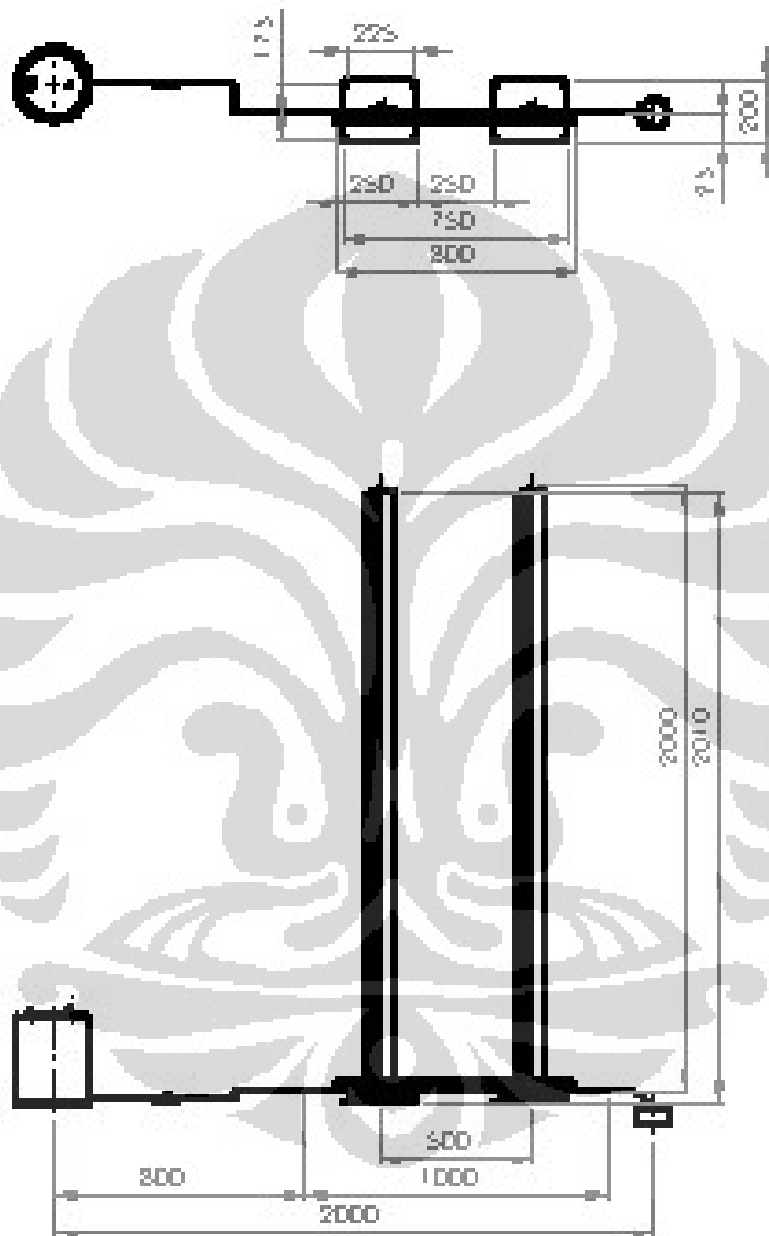
REVISI NO

REVISI NO

INSTALASI PDAA

0107-UI/ SKRIPSI 2012

AA



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 DAN PERENCANAAN
 LABORATORIUM
 TEKNIK SIPIL
 DAN PERENCANAAN

KELOMPOK
 DAN NAMA
 (1811)

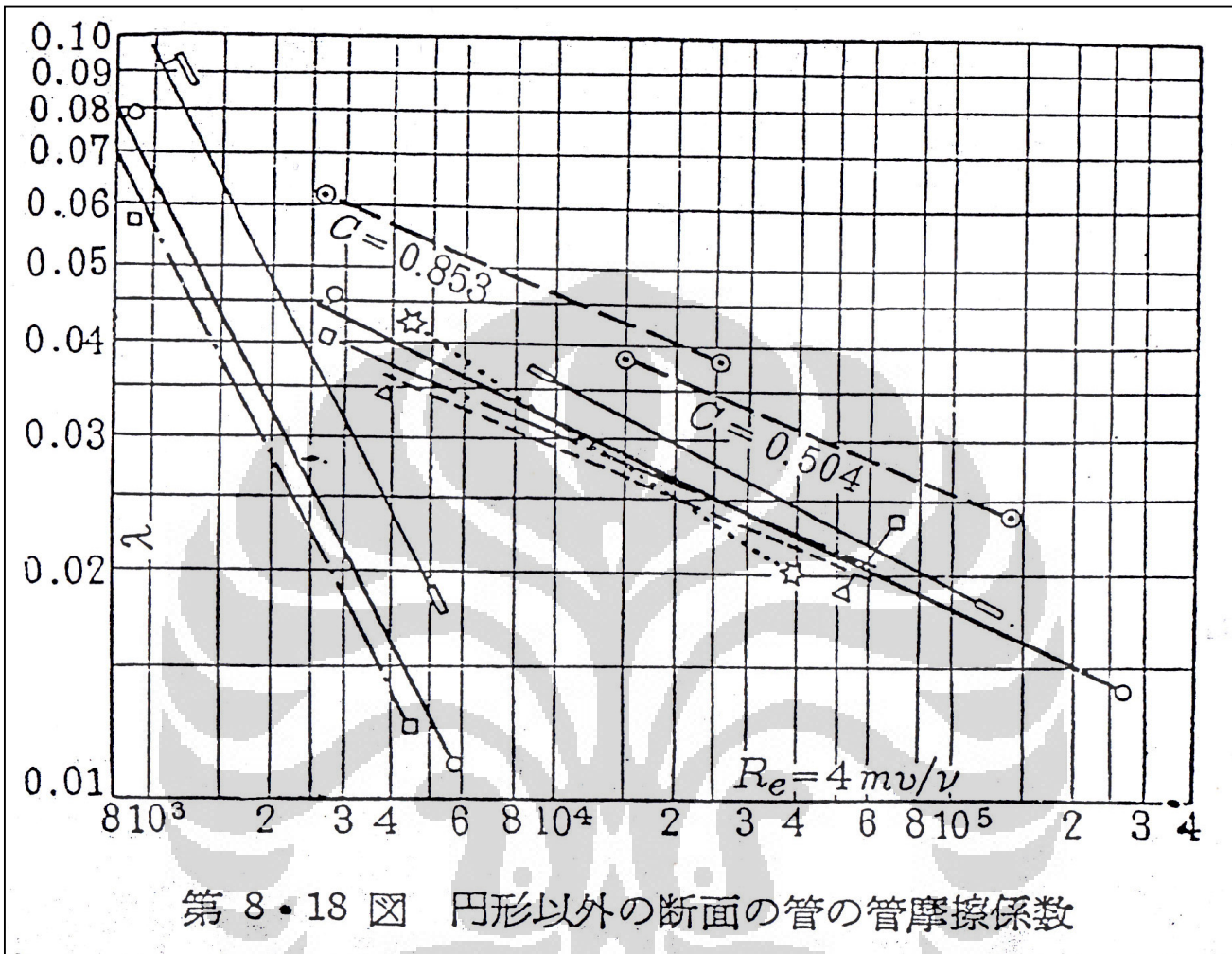
NAMA PERALATAN

PERALATAN

INSTALASI PDAA

0207-U/ SKRIPSI 2012

A-4



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.