



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KERUGIAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP) PIPA PVC Ø  
19 MM**

**SKRIPSI**

**MUHAMMAD ANDRIAZ**

**0806368704**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KERUGIAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP) PIPA PVC Ø  
19 MM**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**MUHAMMAD ANDRIAZ**

**0806368704**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama** : **Muhammad Andriaz**  
**NPM** : **0806368704**  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : **13 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Andriaz

NPM : 0806368704

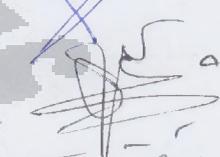
Program studi : Teknik Mesin

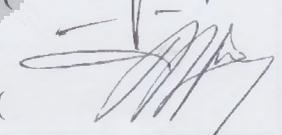
Judul Skripsi : Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa PVC diameter 19 mm.

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

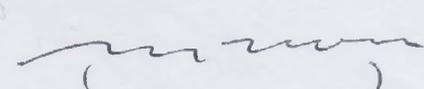
### DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo (  )

Penguji : Ir. Marcus Albert Talahatu, M.T. (  )

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo (  )

Penguji : Ir. Mukti Wibowo (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

## KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Mendengar lagi Maha Melihat dan atas segala limpahan rahmat, ridho, taufik, serta hidayah-NYA sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan karya tulis yang berbentuk skripsi ini sesuai dengan waktu yang telah direncanakan.

Shalawat dan salam saya tujukan kepada Baginda Rosulullah Muhammad SAW, karena berkat mukjizat nya yaitu Al-Qur'an dan hadist yang selalu menuntun saya untuk mencari ilmu hingga akhir hayat. Alhamdulillah hirabbil a'laamiin inilah kata yang dapat penulis sampaikan atas telah selesainya penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul *Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa PVC Ø 19 mm.*

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini semoga Allah SWT memberikan balasan atas kebaikan-kebaikan dalam kuasa-NYA sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Yanuar, M.Eng., M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Papa dan Mama tercinta sehingga penulis diberikan ridho, semangat pantang menyerah dan do'a yang tulus;
- (3) Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia;

- (4) Torang Ridho S. dan Muhammad Haikel yang selalu setia menemani hingga penulisan skripsi serta teman – teman angkatan 2008 dan 2009
- (5) Naomi Pratiwi Mahdiani yang selalu dapat mengerti dan memberikan masukan ketika penulis mengalami masa-masa sulit.
- (6) Adik-adik yang tak pernah lepas untuk memberikan motivasi pada penulis.
- (7) Mas Gunawan ST. dan Mas Baqi ST. dengan dukungannya;
- (8) Teman-teman dari Lab Teknik Menengah Universitas Gunadarma
- (9) Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang memberikan kontribusi dalam penulisan skripsi ini.

Akhirnya hanya kepada Allah SWT membalas semua kebaikan-kebaikan yang melebihi kebaikan yang penulis terima. Semoga Allah SWT meridhoi dan mencatat sebagai ibadah disisi-NYA, amin.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka saran dan kritik yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya. Semoga skripsi ini memberi manfaat bagi semua pihak, khususnya bagi penulis dan para pembaca pada umumnya, sehingga memberikan masukan yang bermanfaat pada dunia ilmu pengetahuan walaupun hanya setitik.

Depok, 10 Juni 2011

Penulis



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Muhammad Andriaz

NPM : 0806368704

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

### **Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa PVC Diameter 19 mm**

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 memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta ijin dari 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 : 10 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Muhammad Andriaz)

## ABSTRAK

Nama : Muhammad Andriaz  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa PVC Diameter 19 mm.

Kerugian jatuh tekan (pressure drop) mempunyai pengaruh yang sangat penting pada dunia industri. Kerugian jatuh tekan ialah kerugian energi yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida. Perancangan alat sangat menentukan pengaruh pada pressure drop, mulai dari pemilihan reducer, valve, tee, elbow dll. Gesekan-gesekan yang terjadi pada aliran fluida dalam pipa sangat sering terjadi. Koefisien gesek didapat dari tegangan geser yang terjadi diantara setiap perbedaan lapisan kecepatan. Pemilihan pipa PVC Ø 19 mm memungkinkan untuk mengurangi pressure drop yang terjadi. Pipa PVC paling sering digunakan untuk system irigasi, dan penyaluran air rumah tangga. Suatu bilangan yang dapat mengidentifikasi antara suatu aliran laminar atau aliran turbulen ialah bilangan Reynolds.

Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui hubungan bilangan Reynolds terhadap nilai koefisien gesek pada pipa PVC. Dimana semakin tinggi bilangan Reynolds maka nilai koefisien gesek semakin kecil. Mengetahui karakteristik aliran dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa PVC. Penggunaan tiga buah Pressure Gauge untuk mengukur perbedaan tekanan antar tab. Untuk pengujian, bahan yang diuji adalah air.

### **Kata kunci:**

**Pressure Drop, Koefisien Gesek, Pipa PVC Ø 19 mm, Bilangan Reynolds**

## ABSTRACT

Nama : Muhammad Andriaz  
Program Studi : Mechanical Engineering  
Judul Skripsi : Pressure Drop In PVC Pipe Diameter 19 mm

Pressure drop have a very important influence in the world. Pressure drop is energy loss required to moving of fluid. Design tool will determine the effect on pressure drop, ranging from selecting the reducer, valve, tee, elbow, etc. Friction-friction that occurs in the fluid flow in pipes are very commonly. The coefficient of friction obtain from shear stress that occurs between each layer of the speed difference. Selection of PVC pipe  $\varnothing$  19 mm make it possible to reduce the pressue drop occur. The most commonly use PVC pipe for irrigation system and supply household water.

The purpose of this study was to correlate the Reynolds number on the value of friction coefficient on the PVC pipe. If the Reynolds number to high, so coefficient of friction as be small. Knowing the characteristics of flow and velocity distributions that occur in PVC pipe. Utilizing Three pieces of pressure gauge for measure the pressure difference inter pressure tab. For testing, the material tested is water.

**Keywords:**

**Pressure Drop, Coefficient of friction, PVC Pipe  $\varnothing$  19 mm, Reynolds Number**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRAC .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    LATAR BELAKANG .....	1
1.2    PERUMUSAN MASALAH .....	2
1.3    TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4    BATASAN MASALAH.....	3
1.5    METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6    SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II DASAR TEORI .....	6
2.1    KLASIFIKASI FLUIDA .....	6
2.1.1    Fluida Newtonian .....	6
2.1.2    Fluida Non Newtonian .....	6
2.2    ALIRAN FLUIDA.....	10
2.2.1    Klasifikasi Aliran Fluida .....	10
2.2.2    Aliran Laminer dan Turbulen.....	12
2.3    SIFAT-SIFAT FLUIDA .....	15
2.3.1    Density .....	15
2.3.1.1    Densitas Massa.....	16
2.3.1.2    Berat Spesifik.....	16
2.3.1.3    Densitas Relatif.....	16
2.3.2    Viskositas .....	17
2.3.3    Bilangan Reynolds .....	18
2.4    PERSAMAAN FLUIDA .....	19

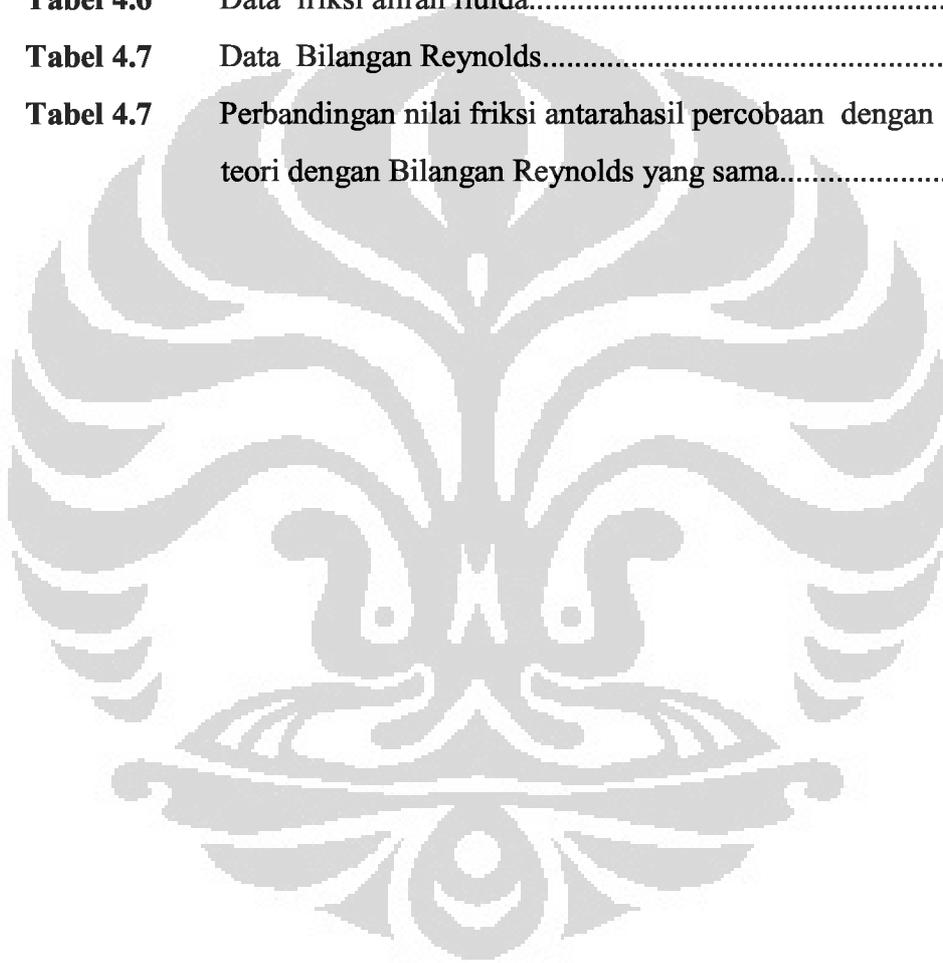
2.4.1	Laju Aliran Volume .....	19
2.4.2	Distribusi Kecepatan .....	19
BAB III DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN .....		21
3.1	RANCANGAN ALAT UJI.....	21
3.2	PERALATAN PENDUKUNG.....	21
3.2.1	Pompa.....	21
3.2.2	Tangki Air .....	22
3.2.3	Valve .....	22
3.2.4	Pressure Gauge.....	23
3.2.5	Termometer .....	23
3.2.6	Gelas Ukur .....	24
3.2.7	Stop Watch.....	24
3.2.8	Timbangan .....	24
3.2.9	Pipa Penyalur .....	25
3.2.10	Manometer .....	25
3.2.11	Tab Besi .....	25
3.3	PROSEDUR PENGAMBILAN DATA .....	26
BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISADATA.....		28
4.1	PERHITUNGAN DATA .....	28
4.1.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan .....	28
4.1.2	Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida.....	30
4.1.3	Perhitungan Friksi .....	32
4.1.4	Perhitungan Bilangan Reynolds .....	34
4.2	ANALISA DATA.....	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		37
5.1	KESIMPULAN.....	37
5.2	SARAN.....	37
DAFTAR PUSTAKA .....		38

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Hubunga antar shear stress – shear rate pada non-newton.	7
<b>Gambar 2.2</b>	Distribusi Kecepatan <i>bingham plastic fluid</i> pada pipa.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Hubungan ( $\tau$ )-( $\gamma$ ) pada thixotropic dan rheopectic.....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan..	11
<b>Gambar 2.5</b>	Proses berkembangnya aliran di atas plat .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Prilaku aliran sedang berkembang hingga penuh.....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Moody Diagram.....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Distribusi kecepatan aliran laminer dan turbulen.....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Instalasi alat uji pipa PVC.....	21
<b>Gambar 3.2</b>	Pompa Centrifugal.....	22
<b>Gambar 3.3</b>	Tanki Air.....	22
<b>Gambar 3.4</b>	Valve.....	23
<b>Gambar 3.5</b>	Pressure Gauge.....	23
<b>Gambar 3.6</b>	Termometer.....	23
<b>Gambar 3.7</b>	Gelas Ukur.....	24
<b>Gambar 3.8</b>	Stopwatch.....	24
<b>Gambar 3.9</b>	Timbangan digital.....	24
<b>Gambar 3.10</b>	Pipa Penyalur.....	25
<b>Gambar 3.11</b>	Manometer.....	25
<b>Gambar 3.12</b>	Tab Besi.....	26

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Sifat fisika air.....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Data perbedaan ketinggian manometer .....	29
<b>Tabel 4.3</b>	Data perbedaan tekanan.....	30
<b>Tabel 4.4</b>	Data debit aliran.....	30
<b>Tabel 4.5</b>	Data kecepatan aliran.....	31
<b>Tabel 4.6</b>	Data friksi aliran fluida.....	33
<b>Tabel 4.7</b>	Data Bilangan Reynolds.....	34
<b>Tabel 4.7</b>	Perbandingan nilai friksi antarahasil percobaan dengan teori dengan Bilangan Reynolds yang sama.....	35



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 .....	39
LAMPIRAN 2 .....	40
LAMPIRAN 3 .....	41
LAMPIRAN 4 .....	42
LAMPIRAN 5 .....	43
LAMPIRAN 6 .....	44
LAMPIRAN 7 .....	45
LAMPIRAN 8 .....	46
LAMPIRAN 9 .....	47
LAMPIRAN 10 .....	48
LAMPIRAN 11 .....	49
LAMPIRAN 12 .....	50
LAMPIRAN 13 .....	51

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Perubahan iklim dan penghematan energi yang terjadi akhir-akhir ini merupakan suatu tantangan serius yang dihadapi dunia di abad 21. Sejumlah bukti baru dan kuat yang muncul dalam setudi mutakhir memperlihatkan bahwa pemanasan global yang terjadi 50 tahun terakhir disebabkan oleh tindakan manusia. Berbagai cara terus dilakukan mulai dari mengembangkan metode lama hingga menghasilkan metode baru. Penerapan ilmu mekanika fluida merupakan salah satu cara untuk menangani masalah yang terjadi pada perubahan iklim. Mekanika fluida ialah suatu ilmu yang mempelajari perilaku fluida baik dalam keadaan diam (static) maupun bergerak (dynamic) serta akibat interaksi dengan media batasnya (zat padat atau fluida dengan  $\gamma$  lain). Secara umum fluida terbagi menjadi 2 yaitu: fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian, dimana pengertian fluida Newtonian ialah fluida yang kekentalannya hanya dipengaruhi oleh temperature dan akan mengalir terus tanpa dipengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Sebagai contoh: air. Sedangkan fluida non-Newtonian ialah fluida yang kekentalannya bukan saja dipengaruhi oleh temperature tetapi dipengaruhi juga oleh perubahan kecepatan aliran dan waktu pemakaian sehingga tidak memiliki viskositas yang konstan. Sebagai contoh Lumpur. Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi. Piping Sistem terus dikembangkan dan dikaji lebih dalam. Kerugian energi yang dibutuhkan untuk memindahkan fluida disebut kerugian jatuh tekanan. Kerugian jatuh tekanan membutuhkan energi dapat direduksi dengan pengurangan hambatan dalam aliran.

Untuk mendorong fluida dalam system perpipaan dibutuhkan energi yang sesuai dengan kapasitas aliran yang dibutuhkan. Pemakaian energi yang diperlukan itu dapat kita hemat dengan mengurangi kapasitas yang sudah ditentukan. Penghematan itu didapat bila nilai kerugian jatuh

tekananan pada fluida yang diberi aditif nilainya lebih kecil dari fluida standarnya sehingga dinamakan pengurangan hambatan. Pengurangan hambatan didefinisikan dengan pengurangan nilai koefisien gesek untuk aliran di dalam pipa atau pengurangan koefisien gesek bentuk aliran luar. Koefisien gesek didapat dari tegangan geser 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.

Oleh karena itu, pada penulisan skripsi ini akan dibahas tentang **“Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa PVC Ø 19 mm”** untuk mendapatkan aliran fluida yaitu laminar, transisi dan turbulen yang ditentukan dari Bilangan Reynolds serta berpengaruh pada Koefisien Gesek dan Pressure Drop

## **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Dalam studi ini akan dilakukan rancang bangun Pressure drop Pipa PVC Ø 19 mm untuk mengetahui kerugian jatuh tekan terhadap perbedaan ketinggian ( $\Delta h$ ) dan bilangan Reynolds serta membandingkannya dengan friksi yang terjadi pada aliran dalam fluida.

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui terjadinya kerugian jatuh tekanan, karakteristik aliran dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa PVC.
2. Membandingkan friksi yang terjadi pada aliran dalam pipa, dengan teori yang sudah ada berdasarkan Bilangan Reynoldsnya

#### 1.4 BATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan (pressure drop) dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa PVC Ø 19 mm.

#### 1.5 METODE PENELITIAN

##### 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. Studi pustaka.

Pada tahapan ini, peneliti melakukan pengumpulan data mengenai Kerugian Jatuh Tekan (Pressure drop). Data ini di dapatkan baik dari koleksi buku di lapangan maupun hasil dari mencari di internet.

##### 3. 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.

##### 4. 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 literatur (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan kelompok skripsi dan dosen pembimbing.

## 5. 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.

## 6. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk mengetahui nilai pressure drop dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa PVC Ø 19 mm agar dapat mengetahui kecepatan minimum atau kritis aliran supaya tidak terjadi proses pengendapan dengan menggunakan fluida yang sama, yaitu air murni, sehingga diharapkan dengan kecepatan tersebut dapat menghemat pemakaian energi melalui pengurangan daya pompa yang digunakan.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, permusan masalah tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian inibdan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori penunjang dalam membahas masalah yang terkait dalam penulisan, seperti: jenis-jenis fluida, jenis aliran dalam pipa, sifat-sifat fluida, dan persamaan umum mekanika fluida.

- **BAB III PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

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

- **BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA 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 KESIMPULAN DAN SARAN**

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



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 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 :

#### 2.1.1. 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 :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

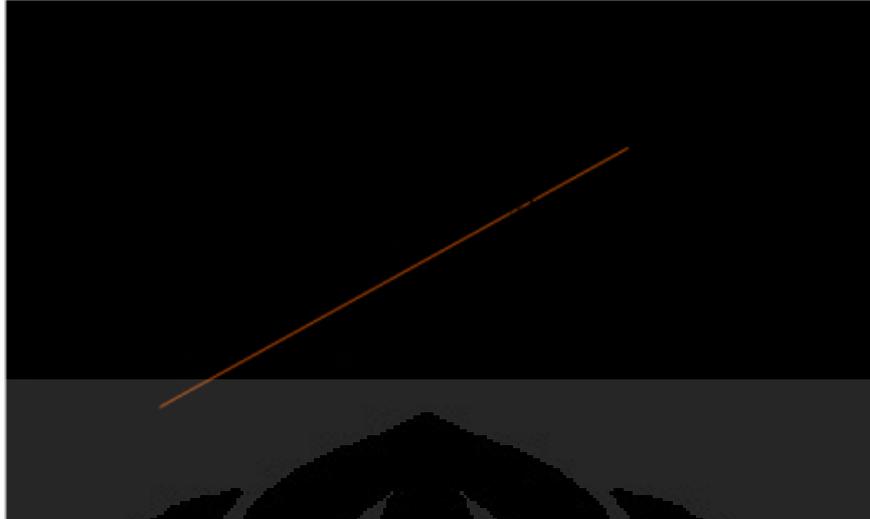
$\tau$  = Tegangan geser pada fluida

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida

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

#### 2.1.2. Fluidan 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 kecepataannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.



Gambar 2.1 Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian

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

a) Bingham plastic

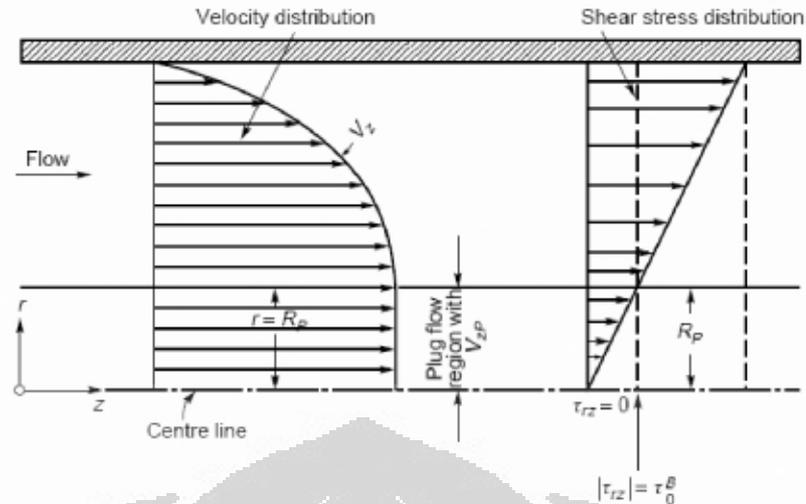
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya sangat bergantung pada shear stress dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$\tau < \tau_y$  = zat padat

$\tau > \tau_y$  = fluida Newton



Gambar 2.2 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 :

$$\tau = K \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < 1 \dots \dots \dots (3)$$

c) Dilatan

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 :

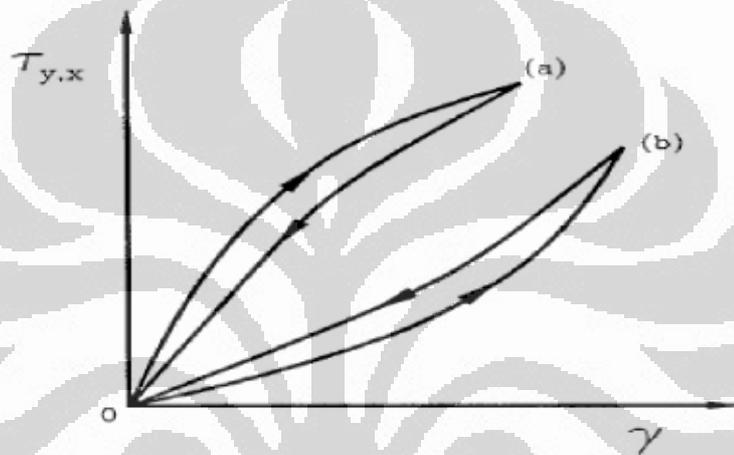
$$\tau = K \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (4)$$

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 2.3 Hubungan shear stress ( $\tau$ ) - shear rate ( $\gamma$ ) 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 :

$$\tau = K \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^n = K (\gamma)^n \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

K= Indeks konsistensi

$\tau$  = Tegangan geser

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

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

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \dots\dots\dots (6)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \dots\dots\dots (7)$$

## 2.2 ALIRAN FLUIDA

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran, hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energy dari fluida tersebut yang sering disebut dengan kerugian tinggi tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (friction losses) dan perubahan pola aliran terjadi karena fluida harus mengikuti bentuk dari dindingnya.

### 2.2.1. Klasifikasi Aliran Fluida

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh HGL.Hagen (1839) penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan sampai kira-kira 0,3 m/s. namun, diatas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kecepatan kuadrat kecepatan ( $\Delta P \approx V^{1,75}$ ). Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan ( $\rho$ ), kecepatan aliran ( $V$ ), diameter ( $D$ ), dan viscositas absolute ( $\mu$ ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan ( $\lambda$ ) dan kekerasan relative dari dinding pada ( $\varepsilon/D$ ) [4], jadi :

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right) \dots\dots\dots (8)$$

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa menyatakan kekerasan mempunyai efek sehingga didapatkan faktor gesekan darcy ( $\lambda$ ) atau disebut dengan formulasi Darcy-Weisbach sebagai berikut :

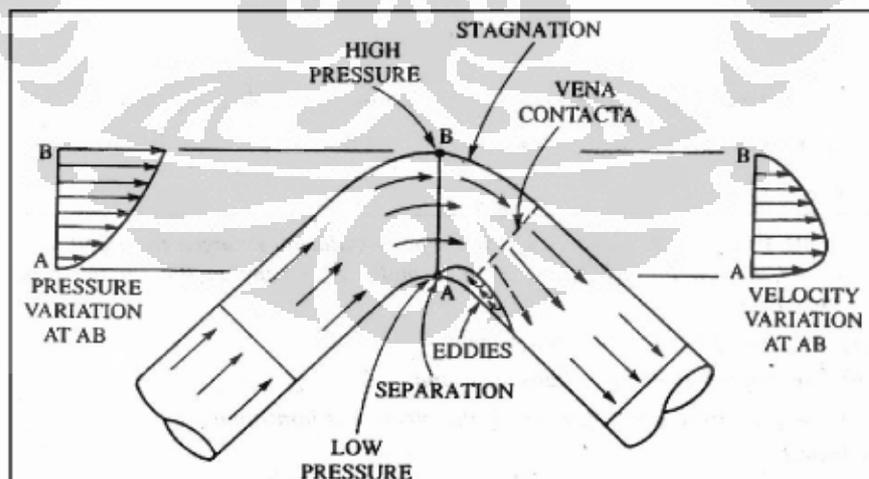
$$hf = \frac{\lambda L}{D(V^2 / 2g)} \dots\dots\dots (9)$$

Dari persamaan di atas didapat beberapa bentuk fungsi dari ( $\lambda$ ) atau ( $f$ ). Persamaan fanning umumnya digunakan untuk menghitung faktor gesekan dimana zat kimia penyusunnya lebih diperhatikan (untuk fluida lebih dari satu phase). Nilai faktor gesekan dapat dikonversi ke formula Darcy menjadi sebagai berikut :

$$[f_{Darcy} = 4 \times f_{fanning}] \dots\dots\dots (10)$$

Pada pola aliran dalam pipa horizontal terdapat efek gravitasi dimana fluida yang lebih berat akan berada dibagian bawah dan yang lebih ringan berada di atas, hal ini dimungkinkan karena perbedaan berat jenis dari fluida tersebut. Bentuk lain dari pola ini dapat berubah karena efek ini dimana aliran akan terbagi menjadi dua lapisan.

Pada pipa juga terjadi kerugian head pada aliran yang disebut *minor loses*. Dimana kerugian ini terjadi pada siku, sambungan, katup, belokan yang disebabkan oleh pembesaran mendadak yang menyebabkan terjadinya perbedaan kecepatan dan tekanan sehingga terjadi loses pada system pipa.



Gambar 2.4 Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan

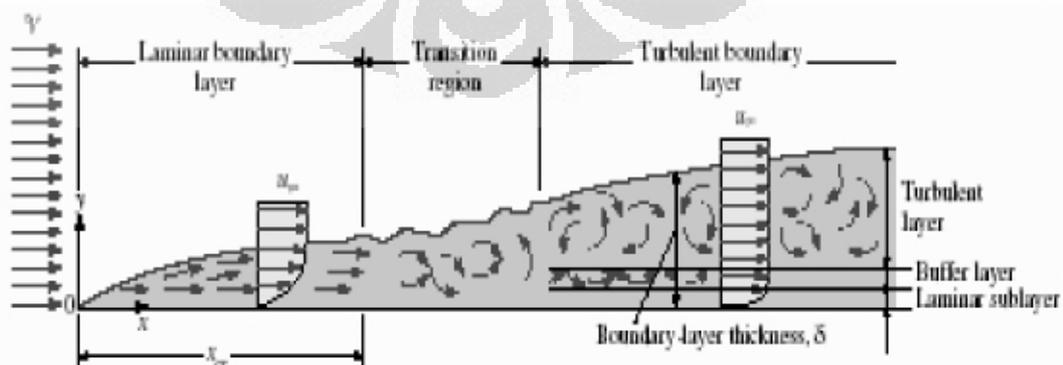
Metode yang paling umum digunakan untuk menentukan kerugian head ataupun tekanan dengan menentukan kerugian gesek lengkung pada pipa spiral lengkung adalah:

$$\xi = (\Delta h) / \left( \frac{v^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (11)$$

### 2.2.2 Aliran Laminar dan Turbulen

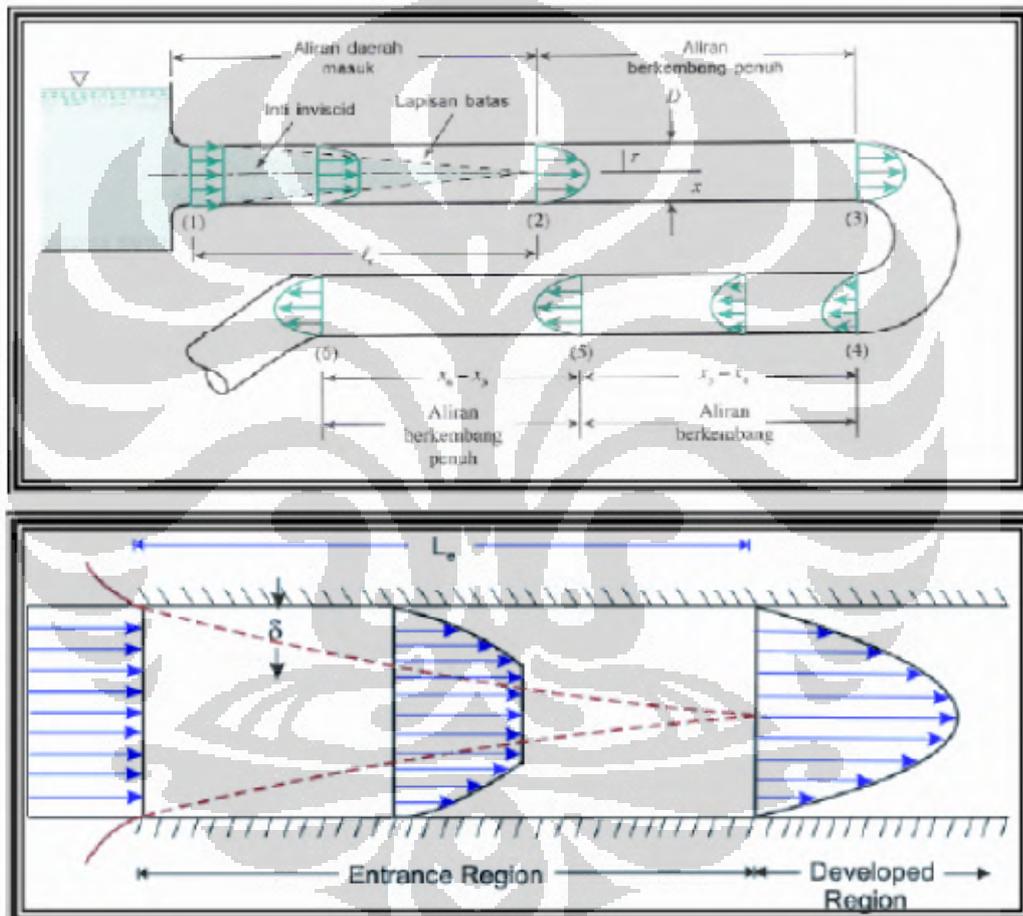
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis 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. Aliran akan mengalami proses transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen sebelum aliran tersebut turbulen. Pada aliran internal, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen



Gambar 2.5 Proses berkembangnya aliran di atas plat

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 2.6 Perilaku aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran. Hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energi dari fluida yang sering disebut dengan kerugian tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (friction losses)

dan perubahan pola aliran. Pada kondisi aliran laminar, hambatan gesek tersebut hanya dipengaruhi oleh kekentalan fluida. Namun, pada aliran turbulenta hambatan tersebut dipengaruhi oleh kekentalan fluida dan kekasaran permukaan pipa.

Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan ( $\rho$ ), kecepatan aliran ( $V$ ), diameter ( $D$ ), dan viskositas dinamik ( $\mu$ ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan ( $f$ ) dan kekasaran relatif dari dinding ( $\epsilon/D$ ).

$$f = \phi\left(\text{Re}, \frac{\epsilon}{D}\right) \dots \dots \dots (12)$$

Hambatan gesek menyebabkan kerugian jatuh tekanan,  $h_f$ . Nilai  $h_f$  ini didapatkan dari persamaan Darcy dan Weisbach (1806-1871):

$$\Delta h = f \left( \frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (13)$$

Dimana  $f$  adalah koefisien gesek Darcy dan dapat ditentukan dengan rumus

$f = \frac{64}{\text{Re}}$  untuk aliran laminar. Terlihat hubungan yang linear antara koefisien gesek

dengan bilangan Reynolds, sedangkan untuk aliran turbulenta nilai koefisien gesek tersebut banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain misalnya kekasaran permukaan pipa. Kekasaran permukaan pipa menjadi faktor yang dominan dalam menentukan besarnya koefisien gesek yang terjadi. Nilai kekasaran permukaan dinotasikan dengan simbol  $e$  dapat ditentukan dengan rumus:

$$\epsilon = \frac{e}{D} \dots \dots \dots (14)$$

Dimana :  $\epsilon$  adalah kekasaran relatif.

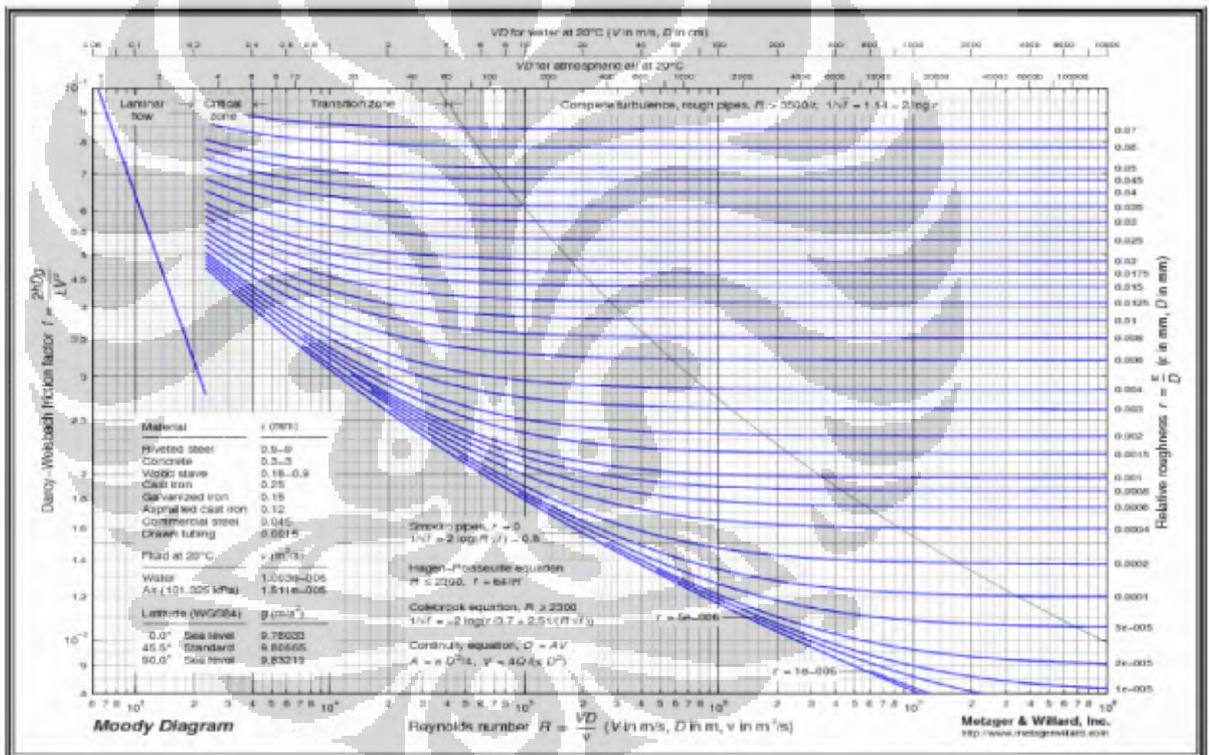
Pengaruh kekasaran permukaan pipa diteliti secara luas pertama kali oleh Nikuradse. Hasil dari percobaannya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat mempengaruhi aliran pada bilangan Reynolds tinggi, nilai koefisien gesek tergantung pada bilangan Reynolds. Von Karman menurunkan rumus untuk aliran turbulenta dengan memasukkan kekasaran permukaan. Hasil dari penurunan rumus tersebut adalah:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 + 2 \log \frac{D}{e} \dots\dots\dots(15)$$

Persamaan Blasius juga menggambarkan nilai koefisien gesek untuk aliran turbulent yaitu:

$$f = 0.3164 \text{Re}^{-\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(16)$$

Lewis F. Moody (1880-1953) mengembangkan hasil percobaan Nikuradse ke dalam bentuk model matematika dan berhasil memplot sebuah grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds pada aliran turbulent dengan variasi kekasaran permukaan. Grafik tersebut dikenal dengan nama diagram Moody.



Gambar 2.7 Diagram Moody

### 2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain :

#### 2.3.1 Density

Density adalah jumlah zat yang terkandung di dalam suatu unit volume. Semua fluida memiliki sifat ini. Sifat ini terbagi menjadi tiga bentuk, yaitu :

**2.3.1.1 Densitas massa**

Densitas massa adalah perbandingan jumlah massa dan jumlah volume dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (17)$$

$$P = \rho gh \dots\dots\dots$$

(18)

Dimana m adalah massa dan v adalah volume dengan unit density adalah kg/m<sup>3</sup> dan dengan dimensi ML<sup>-3</sup> dimana standar tekanan P = 1.013 x 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> dan temperature T = 288.15 K, misalnya ρ air = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

**2.3.1.2 Berat spesifik**

Berat spesifik adalah nilai densitas massa dikalikan dengan gravitasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots (19)$$

Dimana unit berat spesifik adalah N/m<sup>3</sup> dan dengan dimensi M L<sup>-3</sup> T<sup>-2</sup> dengan nilai γ air adalah 9.81 x 10<sup>3</sup> N/m<sup>3</sup>.

**2.3.1.3 Densitas relatif**

Densitas relative atau spesifik gravity (s.g) adalah perbandingan antara densitas massa dengan berat spesifik suatu zat terhadap densitas massa atau berat spesifik dari suatu zat standar, dimana yang dianggap memiliki nilai zat standar adalah air pada temperature 4<sup>0</sup>C dimana densitas relative tidak memiliki satuan.

Rapat massa cairan akan turun dengan naiknya suhu, tetapi tidak terlalu besar. Rapat massa cairan sangat sedikit (tidak) terpengaruh oleh tekanan. Untuk itu cairan disebut fluida incompressible. Pada fluida Non-Newtonian khususnya slurry dimana densitas dari fluida ini dinyatakan dalam bentuk persentase konsentrasi padatan (Cw) dengan persentase antara padatan dengan air sebagai pelarutnya seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} \dots\dots\dots(20)$$

Berdasarkan densitas fluida dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

Fluida incompressible adalah fluida yang tidak mengalami perubahan volum ( $V$ ) dengan adanya penekanan ( $P$ ), atau  $(\delta V / \delta P)_T = 0$ . Atau dapat didefinisikan sebagai fluida yang tidak berubah sifatnya walau ditekan, sehingga densitas cairan tidak berubah dengan adanya penekanan. Fluida ini banyak dijumpai pada sebagian besar cairan dan sedikit gas.

Fluida compressible adalah fluida yang mengalami perubahan volum ( $V$ ) dengan adanya penekanan ( $P$ ), atau dapat dikatakan sebagai fluida yang berubah sifatnya jika ditekan, atau densitas berubah dengan adanya penekanan. Fluida ini banyak dijumpai pada gas.

### 2.3.2 Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah ukuran ketahanan fluida terhadap tegangan geser pada dinding dimana fluida tersebut mengalir. Hukum viskositas pada fluida Newtonian menyatakan bahwa laju aliran dikalikan dengan viskositas berbanding lurus terhadap tegangan geser.

Pada dasarnya viskositas disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya temperature, konsentrasi larutan, bentuk partikel, dll. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, antara lain :

#### a) Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besar nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor seperti yang dijelaskan sebelumnya. Untuk viskositas dinamik air pada temperature lingkungan  $T = 27^\circ\text{C}$  adalah  $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$ .

#### b) Viskositas kinematik

Viskositas kinematik adalah perbandingan viskositas dinamik terhadap density (kerapatan) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas ini terdapat dalam

beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperature standar  $T = 27^{\circ}\text{C}$  adalah  $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Pada fluida Non-Newtonian viskositasnya ditentukan oleh Apperant Viscosity (kekentalan sesaat) karena fluida Non-Newtonian tersebut memiliki suatu sifat histerisis, hal ini disebabkan sulitnya mencari viskositas aslinya.

### 2.3.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran, apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian sehingga bilangan Re lebih kecil dari 2000. Untuk instalasi pipa biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Re dari 2000 sampai 4000 (Steeter, V.L., 1996). Di atas nilai 4000 akan menghasilkan aliran turbulen dan intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds. Untuk pipa bundar yang mengalir penuh berlaku persamaan :

$$\text{Re} = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \dots\dots\dots (21)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan rata-rata aliran [m/s]

$d$  = Diameter dalam pipa [m]

$\nu$  = viskositas kinematik fluida [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$\mu$  = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Analisis lebih lanjut terhadap persamaan Bilangan Reynolds dapat dijelaskan bahwa untuk nilai Re yang besar atau dengan kata lain semua suku dalam pembilang adalah besar dibandingkan penyebut, ini secara tidak langsung menyatakan adanya fluida yang meluas, kecepatan yang tinggi, kerapatan yang besar, viskositas yang sangat kecil atau gabungan hal-hal ekstrim ini. Suku-suku pembilang mempunyai kaitan dengan gaya inersia atau gaya yang diakibatkan oleh percepatan atau perlambatan fluida. suku penyebut merupakan penyebab

gaya geser viskos. Jadi parameter Bilangan Reynolds juga dipandang sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos.

## 2.4 PERSAMAAN FLUIDA

### 2.4.1 Laju Aliran Volume

Laju aliran volume disebut juga debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Laju aliran bisa didapatkan dengan persamaan kontinuitas dimana berbunyi fluida yang tak termampatkan, hasil kali antara kelajuan aliran fluida dalam suatu wadah dengan luas penampang wadah selalu konstan. Debit aliran dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$Q = A V \dots\dots\dots (22)$$

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \dots\dots\dots (23)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

A<sub>1,2</sub> = Luas penampang pipa [m<sup>2</sup>]

Q = Debit aliran [m<sup>3</sup>/s]

D = Diameter

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (24)$$

Dimana :

v = Volume aliran [m<sup>3</sup>]

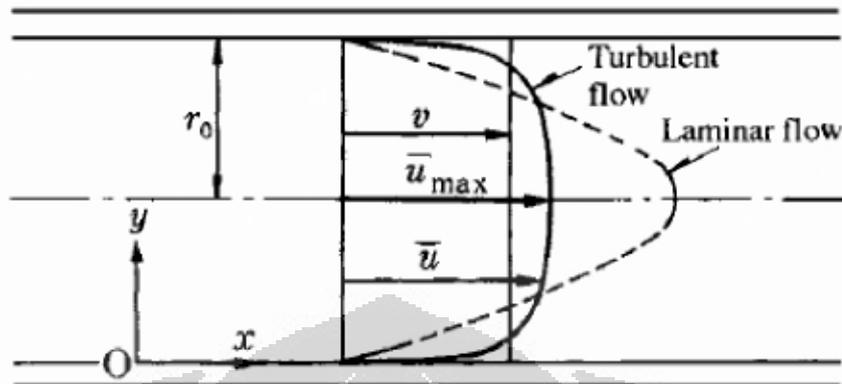
Q = Debit aliran [m<sup>3</sup>/s]

t = waktu aliran [s]

### 2.4.2 Distribusi Kecepatan

Distribusi kecepatan adalah distribusi aliran dalam pipa antara jarak aliran terhadap permukaan pipa. Distribusi aliran ini berbeda antara aliran laminar dan

aliran turbulents. Distribusi aliran digunakan untuk melihat profil aliran kecepatan dalam pipa.



Gambar 2.8 Distribusi Kecepatan *laminar dan turbulents* pada pipa bulat

Untuk aliran laminar maka berlaku persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} v_c \dots \dots \dots (25)$$

$$v = v_c \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = v_c \left( 1 - \frac{(R-y)^2}{R} \right) \dots \dots \dots (26)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan rata-rata aliran [m/s]

$v_c$  = Kecepatan aliran pada pusat pipa [m/s]

$v$  = Kecepatan aliran dalam jarak  $r$  atau  $y$  waktu aliran [m/s]

$r$  = Jarak kecepatan aliran  $v$  dari titik pusat diameter dalam pipa [m]

$y$  = Jarak kecepatan aliran  $v$  dari permukaan dalam pipa [m]

$R$  = Jari-jari pipa [m]

## BAB III

### DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

#### 3.1 Rancangan Alat Uji

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

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana alat uji adalah sebuah pipa PVC dengan panjang pipa 2 m, diameter luar ( $\emptyset$  out) 22 mm, dan diameter dalam ( $\emptyset$  in) 19 mm. Pipa ini dihubungkan dengan dua buah pompa, dimana pompa digunakan untuk menyedot air yang ada didalam tangki untuk dialirkan dalam pipa PVC. Pada alat uji dipasang tiga buah manometer, dimana manometer pertama diletakkan pada posisi 30 D-in, manometer kedua 80 D-in dan manometer ketiga dipasang 20 cm dari ujung pipa, kemudian pada saluran keluar fluida dipasang sebuah gelas ukur, dimana gelas ukur ini berfungsi untuk menghitung volume fluida yang keluar per satuan waktu atau dengan kata lain untuk mengukur debit



Gambar 3.1 Instalasi alat uji pipa PVC

#### 3.2 Peralatan Pendukung

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

##### 3.2.1 Pompa

Pompa yang digunakan sebagai alat uji ini adalah pompa sentrifugal dengan putaran motor sebesar 1450 rpm dengan kapasitas pompa sebesar 0,5 hp dimana pompa ini memiliki

section head sejauh 15 meter dengan section lift sebesar 10 m. Daya yang dibutuhkan sebesar 370 watt dengan aliran listrik satu phase.



Gambar 3.2 Pompa Sentrifugal

### 3.2.2 Tangki Air

Tangki air berfungsi untuk menampung fluida yang akan di uji, pencucian tangki air harus dilakukan tidak terjadi kotoran yang berada dalam fluida



Gambar 3.3. Tangki Air

### 3.2.3 Valve

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



Gambar 3.4 Valve dengan busur derajat

### 3.2.4 Pressure Gauge

Pressure gauge digunakan untuk mengukur beda tekanan yang terjadi antara dua titik pada pipa penguji.



Gambar 3.5 Pressure Gauge

### 3.2.5 Termometer

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



Gambar 3.6 Termometer

### 3.2.6 Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk menampung fluida yang keluar dari pipa, dimana fluida itu ditampung dan di hitung volumenya.



Gambar 3.7 Gelas Ukur

### 3.2.7 Stop Watch

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



Gambar 3.8 Stop Watch

### 3.2.8 Timbangan Digital

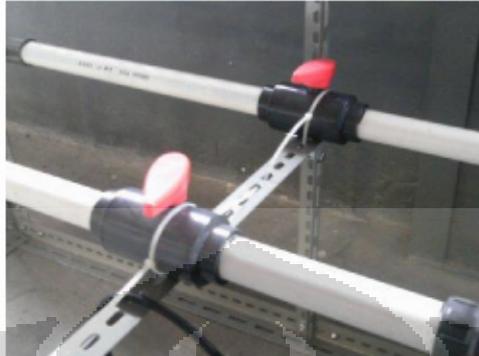
Digunakan untuk mengukur berat dari fluida yang ditampung pada gelas ukur.



Gambar 3.8 Timbangan

### 3.2.9 Pipa penyalur

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



Gambar 3.9 Pipa PVC 1 inci

### 3.2.10 Manometer.

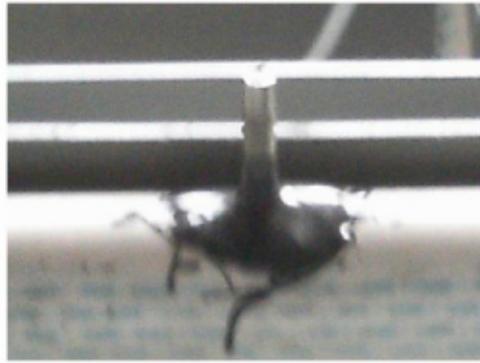
Penggunaan manometer ditujukan untuk mengetahui perbedaan ketinggian ( $\Delta h$ ) antar tab. Manometer ini disesuaikan dengan di ampeter tab yang di pasang.



Gambar 3.10 Manometer

### 3.2.11 Tab Besi

Perbedaan ketinggian, pressure drop ditentukan di bagian ini, dimana dalam system melubangi pipa sangat diperhatikan sehingga memerlukan tingkat akurasi dan presisi. Tab besi ini mempunyai ukuran  $\varnothing$  3 mm.



Gambar 3.11 Tab besi

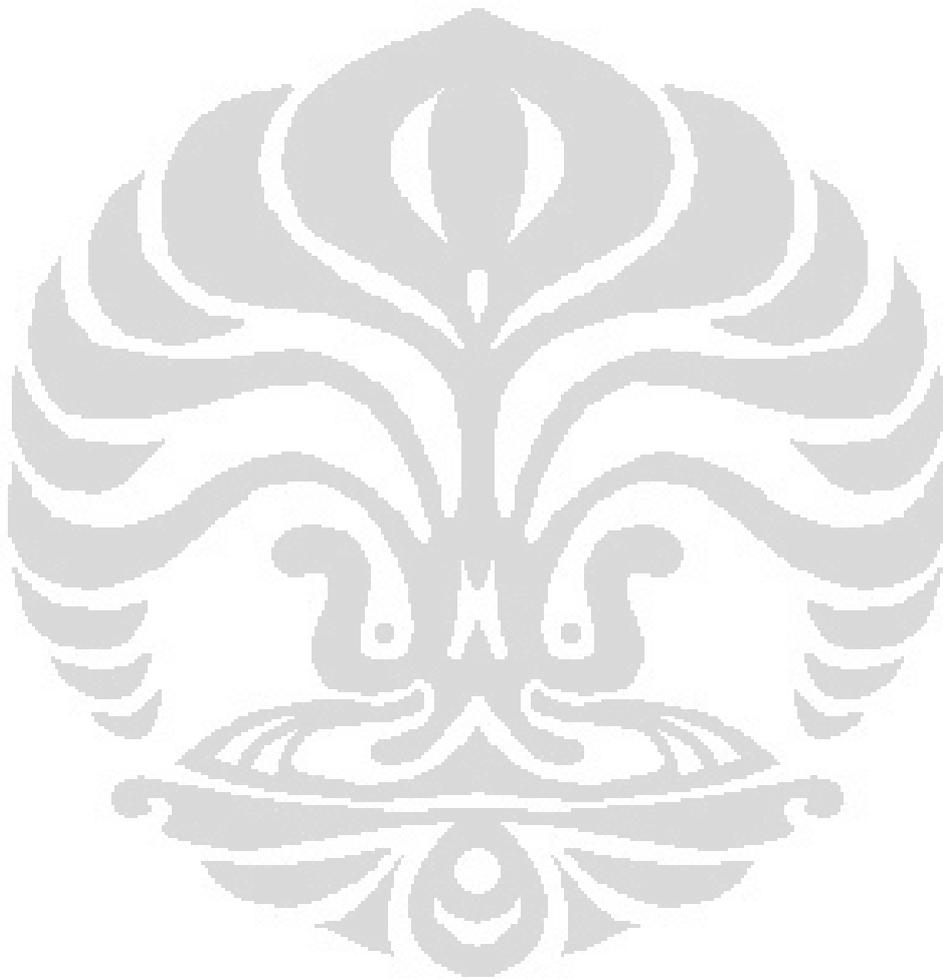
### 3.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

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 tangki untuk mengetahui temperatur fluida.
3. Membuka semua katup yang ada agar fluida bisa mengalir dan mencapai keadaan stabil.
4. Menghidupkan dua buah pompa, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran.
5. Mengamati sirkulasi kecepatan fluida hingga aliran sudah stabil, kondisi ini dapat dilihat dari perbedaan pressure dan tidak terdapatnya bubble pada keluaran fluida.
6. Melihat temperatur pada termometer yang dipasang pada tangki.
7. Mengatur bukaan katup pada bukaan pertama hingga mencapai hasil yang diinginkan dan melihat perbedaan ketinggian pada pressure gauge pertama, pressure kedua dan pressure ketiga.
8. 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 dengan menggunakan stop watch.

9. Menimbang massa fluida untuk mengetahui massa jenis dari fluida tersebut dengan menggunakan timbangan digital.
10. Melakukan langkah ke-5 sampai langkah ke-8 dengan pembukaan katup utama diperbesar dari bukaan katup pertama hingga sebesar  $90^\circ$ .
11. 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 ( $\Delta h$ ), volume fluida, waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu, massa dari fluida, dan temperature fluida. Dari perbedaan ketinggian nantinya didapat perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ), 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.

Temperatur T (°C)	Densitas $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Jenis $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Viskositas Dinamik $\mu$ (N·s/m <sup>2</sup> )	Viskositas Kinematik $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	999,9	9,806	1,787E-03	1,787E-06
5	1000	9,807	1,519E-03	1,519E-06
10	999,7	9,804	1,307E-03	1,307E-06
20	998,2	9,789	1,002E-03	1,004E-06
30	995,7	9,765	7,975E-04	8,009E-07
40	992,2	9,731	6,529E-04	6,580E-07
50	988,1	9,690	5,468E-04	5,534E-07
60	983,2	9,642	4,665E-04	4,745E-07
70	977,8	9,589	4,042E-04	4,134E-07
80	971,8	9,530	3,547E-04	3,650E-07
90	965,3	9,467	3,147E-04	3,260E-07
100	958,4	9,399	2,818E-04	2,940E-07

**4.1 Tabel sifat Fisika Air**

#### 4.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan

Perhitungan perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) dari data perbedaan ketinggian ( $\Delta h$ ) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan mm.

Tabel 4.2 Data perbedaan ketinggian manometer

Bukaan Katup	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	$\Delta h_{1-3}$ (mm)	$\Delta h_{1-3}$ (m)	$\Delta h_{2-3}$ (mm)	$\Delta h_{2-3}$ (m)
1	110.3	110.1	110	0.3	0.0003	0.1	0.0001
2	260.4	260.1	260	0.4	0.0004	0.1	0.0001
3	402.5	402.1	402	0.5	0.0005	0.1	0.0001
4	533.6	533.1	533	0.6	0.0006	0.1	0.0001
5	661.6	661.2	661	0.6	0.0006	0.2	0.0002
6	776.7	776.2	776	0.7	0.0007	0.2	0.0002
7	885.0	884.3	884	1.0	0.0010	0.3	0.0003
8	975.2	974.3	974	1.2	0.0012	0.3	0.0003
9	1060.9	1059.5	1059	1.9	0.0019	0.5	0.0005
10	1137.9	1135.8	1135	2.9	0.0029	0.8	0.0008
11	1206.1	1201.7	1200	6.0	0.0060	1.7	0.0017
12	1260.6	1255.8	1254	6.6	0.0066	1.8	0.0018
13	1305.2	1298.5	1296	9.2	0.0092	2.5	0.0025
14	1341.6	1332.5	1329	12.6	0.0126	3.5	0.0035
15	1372.7	1361.4	1357	15.7	0.0157	4.4	0.0044
16	1400.5	1384.2	1378	22.5	0.0225	6.2	0.0062
17	1422.8	1403.4	1396	26.8	0.0268	7.4	0.0074
18	1440.7	1416.3	1407	33.7	0.0337	9.3	0.0093
19	1464.6	1428.7	1415	49.6	0.0496	13.7	0.0137
20	1485.4	1438.0	1420	65.4	0.0654	18.0	0.0180

Dengan :

h1 = ketinggian manometer pertama

h2 = ketinggian manometer kedua

h3 = ketinggian manometer ketiga

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

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

dengan persamaan 2.18. dimana :

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

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

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

Tabel 4.3 Data perbedaan tekanan

Bukaan Katup	$\Delta h_{1-3}$ (mm)	$\Delta h_{1-3}$ (m)	$\Delta h_{2-3}$ (mm)	$\Delta h_{2-3}$ (m)	$\Delta P_{1-3}$ (Pa)	$\Delta P_{2-3}$ (Pa)
1	0.3	0.0003	0.1	0.0001	3.43	0.95
2	0.4	0.0004	0.1	0.0001	4.02	1.05

Universitas Indonesia

3	0.5	0.0005	0.1	0.0001	4.61	1.15
4	0.6	0.0006	0.1	0.0001	5.62	1.46
5	0.6	0.0006	0.2	0.0002	6.22	1.65
6	0.7	0.0007	0.2	0.0002	6.86	1.85
7	1.0	0.0010	0.3	0.0003	10.30	2.80
8	1.2	0.0012	0.3	0.0003	12.26	3.36
9	1.9	0.0019	0.5	0.0005	19.03	5.12
10	2.9	0.0029	0.8	0.0008	28.76	7.90
11	6.0	0.0060	1.7	0.0017	59.35	16.31
12	6.6	0.0066	1.8	0.0018	65.23	17.92
13	9.2	0.0092	2.5	0.0025	90.55	25.01
14	12.6	0.0126	3.5	0.0035	124.09	34.20
15	15.7	0.0157	4.4	0.0044	154.50	42.85
16	22.5	0.0225	6.2	0.0062	221.02	60.97
17	26.8	0.0268	7.4	0.0074	262.91	72.58
18	33.7	0.0337	9.3	0.0093	330.99	91.39
19	49.6	0.0496	13.7	0.0137	486.97	134.73
20	65.4	0.0654	18.0	0.0180	641.57	176.40

#### 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 4.4 Data debit aliran**

Bukaan Katup	t (s)	Vol (ml)	Vol (L)	Vol (m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	11.20	115	0.115	0.0001	0.00001
2	11.67	133	0.133	0.0001	0.00001
3	11.63	144	0.144	0.0001	0.00001
4	11.41	160	0.160	0.0002	0.00001
5	11.80	185	0.185	0.0002	0.00002
6	11.68	208	0.208	0.0002	0.00002
7	10.87	227	0.227	0.0002	0.00002
8	11.26	296	0.296	0.0003	0.00003
9	11.92	337	0.337	0.0003	0.00003
10	11.78	411	0.411	0.0004	0.00003
11	11.52	526	0.526	0.0005	0.00005
12	11.87	748	0.748	0.0007	0.00006

13	11.69	891	0.891	0.0009	0.00008
14	11.74	1070	1.070	0.0011	0.00009
15	11.68	1211	1.211	0.0012	0.00010
16	11.75	1490	1.490	0.0015	0.00013
17	11.55	1618	1.618	0.0016	0.00014
18	10.67	1705	1.705	0.0017	0.00016
19	10.87	2168	2.168	0.0022	0.00020
20	10.54	2452	2.452	0.0025	0.00023

Melalui persamaan

$$Q = \frac{v}{t}$$

Dengan :

t = waktu (s)

vol = volume (L)

Q = debit (m<sup>3</sup>/s)

Debit (Q) didapat dengan menggunakan persamaan 2.24

Untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida(u) kita menggunakan rumus 2.22, dimana u didapat setelah kita mendapatkan debit (Q) aliran.

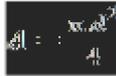
**Tabel 4.5 Data kecepatan aliran**

Bukaan Katup	D-in (m)	A Pipa (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	u (m/s)
1	0.019	0.000283385	0.00001	0.036
2	0.019	0.000283385	0.00001	0.040
3	0.019	0.000283385	0.00001	0.044
4	0.019	0.000283385	0.00001	0.049
5	0.019	0.000283385	0.00002	0.055
6	0.019	0.000283385	0.00002	0.063
7	0.019	0.000283385	0.00002	0.074
8	0.019	0.000283385	0.00003	0.093
9	0.019	0.000283385	0.00003	0.100
10	0.019	0.000283385	0.00003	0.123
11	0.019	0.000283385	0.00005	0.161
12	0.019	0.000283385	0.00006	0.222
13	0.019	0.000283385	0.00008	0.269
14	0.019	0.000283385	0.00009	0.322
15	0.019	0.000283385	0.00010	0.366

16	0.019	0.000283385	0.00013	0.447
17	0.019	0.000283385	0.00014	0.494
18	0.019	0.000283385	0.00016	0.564
19	0.019	0.000283385	0.00020	0.704
20	0.019	0.000283385	0.00023	0.821

Dengan :

$d_{in}$  = Diameter dalam pipa (m) dimana diameter pipa yang digunakan adalah 19 mm

$A$  = Luas penampang pipa ( $m^2$ ) didapat dari persamaan 

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

#### 4.1.3 Perhitungan Friksi

Friksi yang terjadi pada pipa kita bisa hitung dari persamaan Darcy dan Weisbach, persamaan 2.13. dari persamaan tersebut nilai  $f$  bisa didapat jika kita mempunyai nilai- $Q$ ,  $L$ ,  $D$ ,  $u$ ,  $g$ , dan  $d$

Tabel 4.6 Data friksi aliran fluida

Bukaan Katup	$\Delta h_{1-3}$ (mm)	$\Delta h_{2-3}$ (mm)	$D_{in}$ (m)	$L_1$ (m)	$L_2$ (m)	$u$ (m/s)	$f_{1-3}$	$f_{2-3}$
1	0.3	0.1	0.019	1.325	0.37	0.036	0.0878	0.0835
2	0.4	0.1	0.019	1.325	0.37	0.040	0.0775	0.0726
3	0.5	0.1	0.019	1.325	0.37	0.044	0.0698	0.0665
4	0.6	0.1	0.019	1.325	0.37	0.049	0.0618	0.0598
5	0.6	0.2	0.019	1.325	0.37	0.055	0.0518	0.0507
6	0.7	0.2	0.019	1.325	0.37	0.063	0.0478	0.0464
7	1.0	0.3	0.019	1.325	0.37	0.074	0.0395	0.0387
8	1.2	0.3	0.019	1.325	0.37	0.093	0.0483	0.0475
9	1.9	0.5	0.019	1.325	0.37	0.100	0.0499	0.0488
10	2.9	0.8	0.019	1.325	0.37	0.123	0.0491	0.0466
11	6.0	1.7	0.019	1.325	0.37	0.161	0.0461	0.0439
12	6.6	1.8	0.019	1.325	0.37	0.222	0.0401	0.0385
13	9.2	2.5	0.019	1.325	0.37	0.269	0.0396	0.0376
14	12.6	3.5	0.019	1.325	0.37	0.322	0.0374	0.0351
15	15.7	4.4	0.019	1.325	0.37	0.366	0.0358	0.0348
16	22.5	6.2	0.019	1.325	0.37	0.447	0.0342	0.0333

17	26.8	7.4	0.019	1.325	0.37	0.494	0.0338	0.0325
18	33.7	9.3	0.019	1.325	0.37	0.564	0.0324	0.0309
19	49.6	13.7	0.019	1.325	0.37	0.704	0.0289	0.0285
20	65.4	18.0	0.019	1.325	0.37	0.821	0.0281	0.0277

Dengan :

$\square K \square \square$  = Perbedaan ketinggian manometer pertama dengan ketiga (mm)

$\square K \square \square$  = Perbedaan ketinggian manometer kedua dengan ketiga (mm)

L1 = Jarak antara manometer pertama dengan ketiga (m)

L2 = Jarak antara manometer kedua dengan ketiga (m)

d-in = diameter dalam pipa (m)

u = Kecepatan aliran fluida (m/s)

f13 = friksi yang terjadi antara manometer pertama dengan ketiga

f23 = friksi yang terjadi antara manometer kedua dengan ketiga

#### 4.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan 2.21, dimana nilai dari Bilangan Reynolds ( $Re$ ) dapat dihitung bila mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran ( $u$ ), massa jenis ( $\rho$ ), diameter dalam pipa ( $d$ ), viskositas dinamik ( $\mu$ ) atau viskositas kinematik ( $\nu$ ).

**Tabel 4.7 Data Bilangan Reynolds**

Bukaan Katup	T (°C)	D-in (m)	u (m/s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Re
1	30	0.019	0.036	8.009E-07	861
2	30	0.019	0.040	8.009E-07	950
3	30	0.019	0.044	8.009E-07	1038
4	30	0.019	0.049	8.009E-07	1171
5	30	0.019	0.055	8.009E-07	1314
6	30	0.019	0.063	8.009E-07	1491
7	30	0.019	0.074	8.009E-07	1749
8	30	0.019	0.093	8.009E-07	2198
9	30	0.019	0.100	8.009E-07	2370
10	30	0.019	0.123	8.009E-07	2918
11	30	0.019	0.161	8.009E-07	3819
12	30	0.019	0.222	8.009E-07	5275
13	30	0.019	0.269	8.009E-07	6381
14	30	0.019	0.322	8.009E-07	7630

15	30	0.019	0.366	8.009E-07	8680
16	30	0.019	0.447	8.009E-07	10616
17	30	0.019	0.494	8.009E-07	11727
18	30	0.019	0.564	8.009E-07	13377
19	30	0.019	0.704	8.009E-07	16697
20	30	0.019	0.821	8.009E-07	19475

Dengan :

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

d-in = diameter dalam pipa (m)

u = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$\nu$  = Viskositas kinematis ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Re = bilangan Reynolds

Nilai viskositas kinematis ( $\nu$ ) 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.

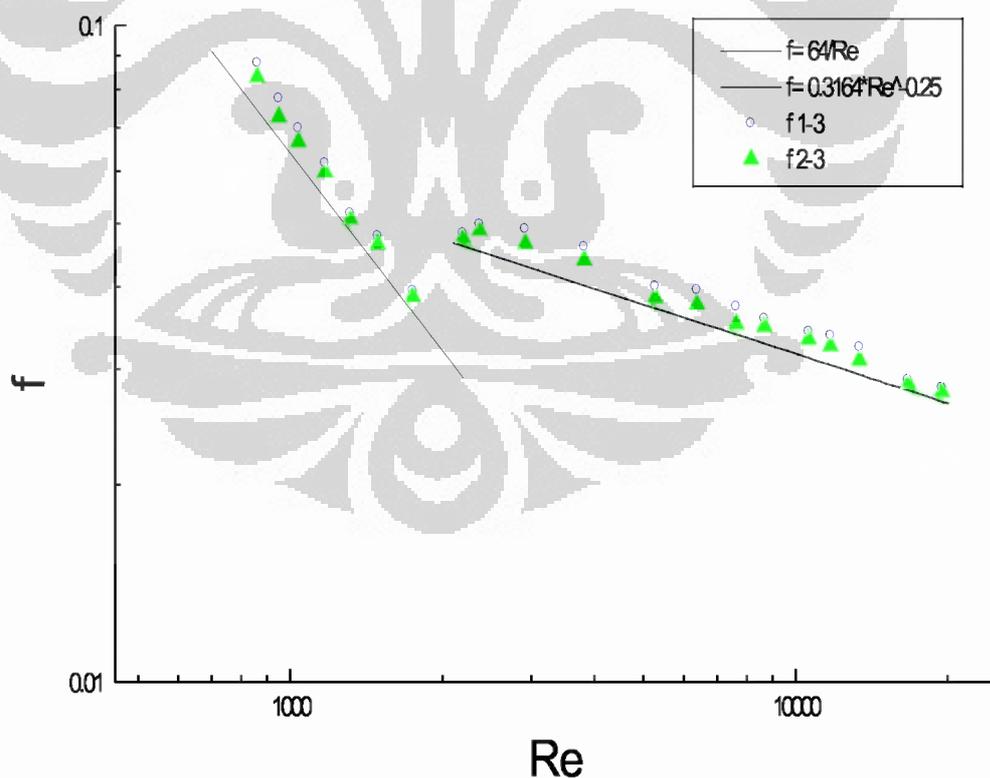
**Tabel 4.8 Perbandingan nilai friksi antara hasil percobaan dengan teori dengan Bilangan Reynolds yang sama**

bukaan	f1-3	f2-3	Re	f turbulen	f laminer
1	0.0878	0.0835	861		0.0743
2	0.0775	0.0726	950		0.0673
3	0.0698	0.0665	1038		0.0617
4	0.0618	0.0598	1171		0.0547
5	0.0518	0.0507	1314		0.0487
6	0.0478	0.0464	1491		0.0429
7	0.0395	0.0387	1749		0.0366
8	0.0483	0.0475	2198	0.0462	0.0291
9	0.0499	0.0488	2370	0.0453	0.0270
10	0.0491	0.0466	2918	0.0430	0.0219

Universitas Indonesia

11	0.0461	0.0439	3819	0.0402	0.0168
12	0.0401	0.0385	5275	0.0371	0.0121
13	0.0396	0.0376	6381	0.0354	0.0100
14	0.0374	0.0351	7630	0.0339	0.0084
15	0.0358	0.0348	8680	0.0328	0.0074
16	0.0342	0.0333	10616	0.0312	0.0060
17	0.0338	0.0325	11727	0.0304	0.0055
18	0.0324	0.0309	13377	0.0294	0.0048
19	0.0289	0.0285	16697	0.0278	0.0038
20	0.0281	0.0277	19475	0.0268	0.0033

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 didapat seperti hasil di tabel 4.6



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

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

- Kerugian jatuh tekan (pressure drop) pada pipa PVC Ø 19 mm berbanding lurus dengan  $\Delta h$ .
- Koefisien gesek hasil experimental mendekati dengan nilai koefisien gesek hagen poisele pada aliran laminer dan persamaan blasius pada aliran turbulen.
- Tidak ada pengaruh antara perbedaan diameter terhadap nilai koefisien gesek

#### **5.2 SARAN**

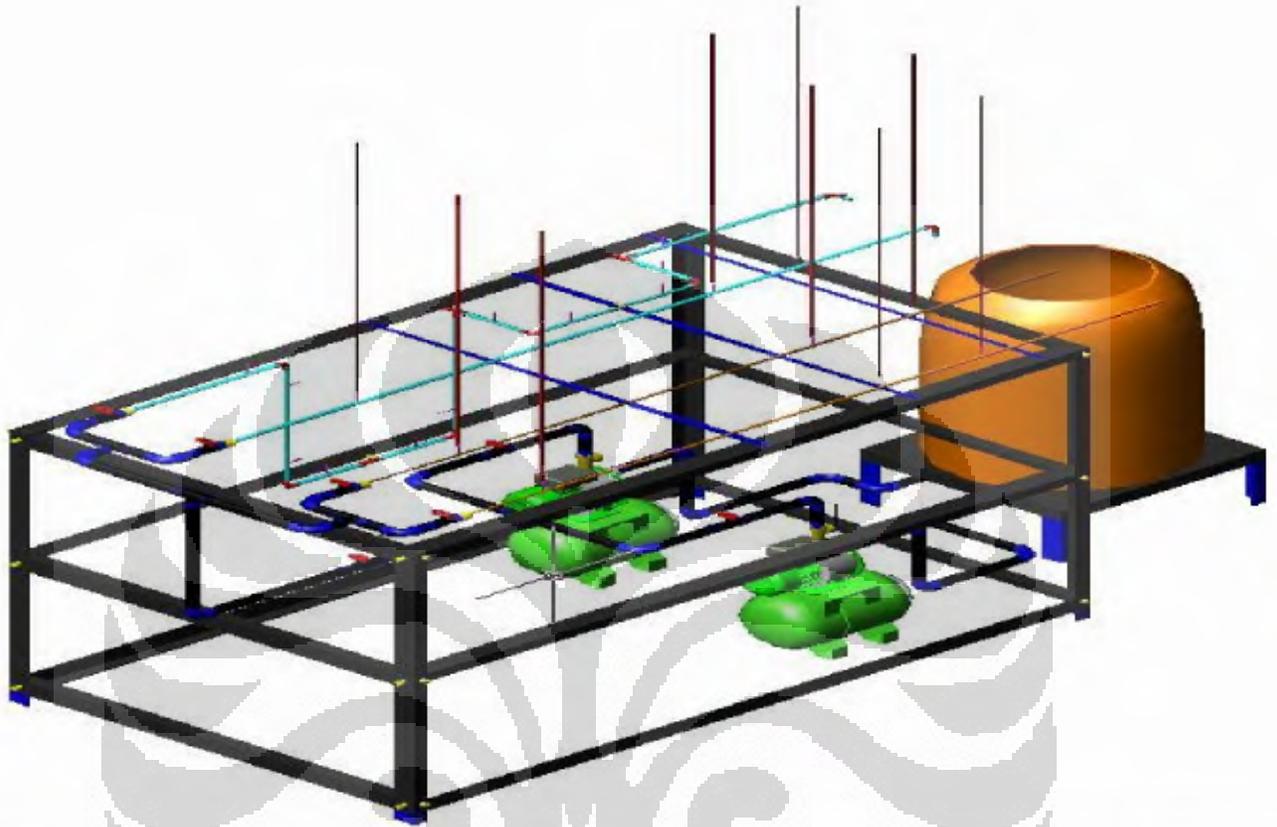
Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

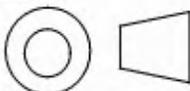
- Data-data yang di ambil pada saat pengujian akan lebih akurat apabila menggunakan peralatan kalibrasi (manometer) yang lebih sensitif atau presisi;
- Untuk mendapatkan data yang akurat dari suatu penelitian perlu digunakan jenis pompa yang lebih memiliki kestabilan putaran, baik dalam kondisi putaran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

## DAFTAR PUSTAKA

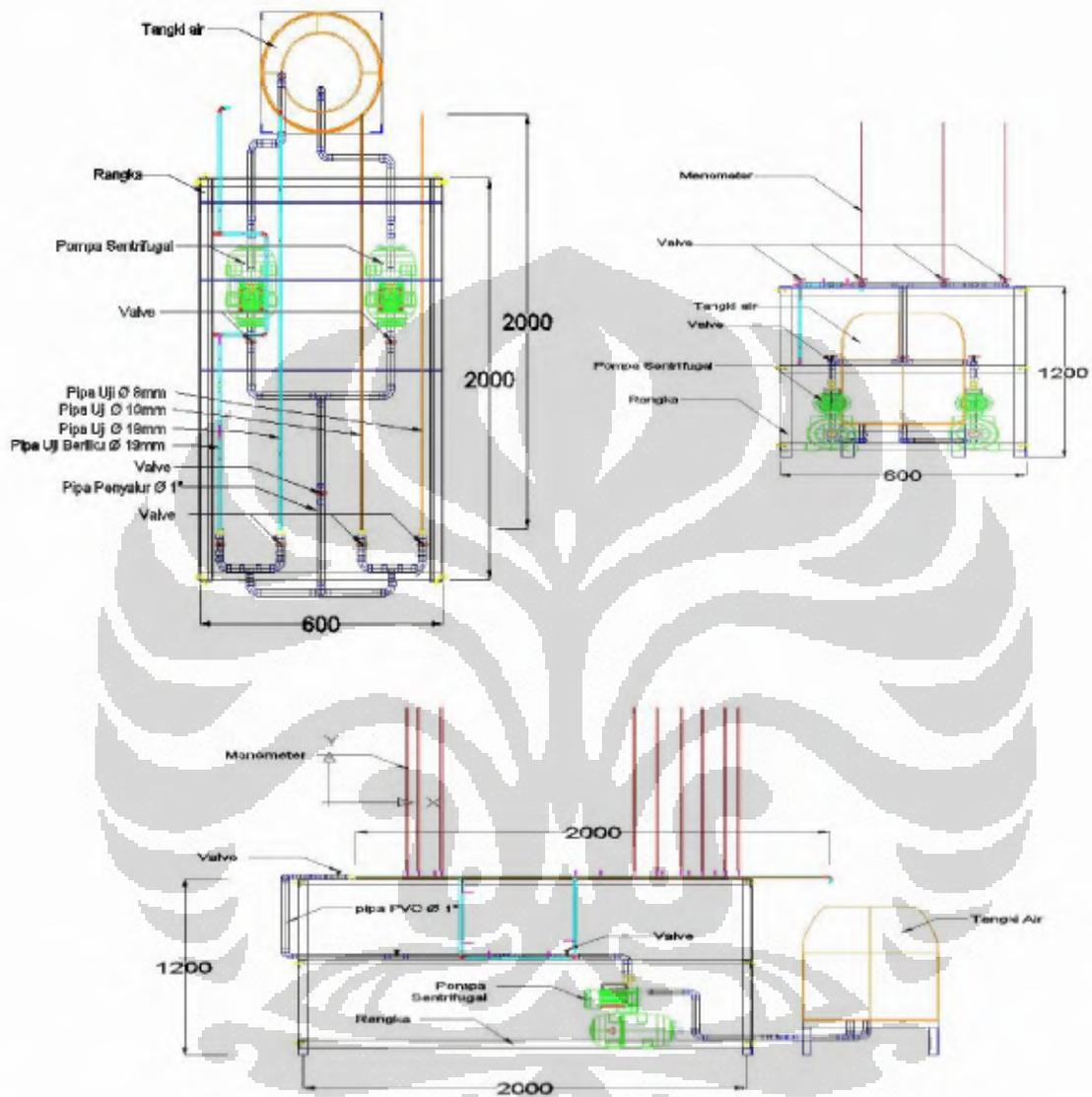
1. Crane Co. (1976). Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe. Tech. Paper No. 410, 16<sup>th</sup> printing. Crane Co., 300 Park Avenue, NY
2. Etmad, S. Gh. (2004). Turbulent Flow Friction Loss Coefficients of fittings for Purely Viscous non-Newtonian Fluids. Int. Comm. Heat Mass Transfer, 31, 763
3. Gerhart M Philip, Fundamentals of Fluid Mechanics. Addison Wesley Publishing Company. 1985. P.443.
4. Kreith, Frank, Fluid Mechanics, United States of America, The CRC Press LLC. 2000
5. Kumar, K.L., Engineering Fluid Mechanics, Eurasia Publishing House Ltd., 2000
6. Lang, Rudi A. Basic Principles and Components of Fluid Technology. United States of America. Mannesmann Rexroth. 1991
7. Munson, B.R., Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Ed, John Wiley & Sons, Inc. 2000
8. Smits, A.J., A, Physical Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, Inc. 2000
9. 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.

## LAMPIRAN 1



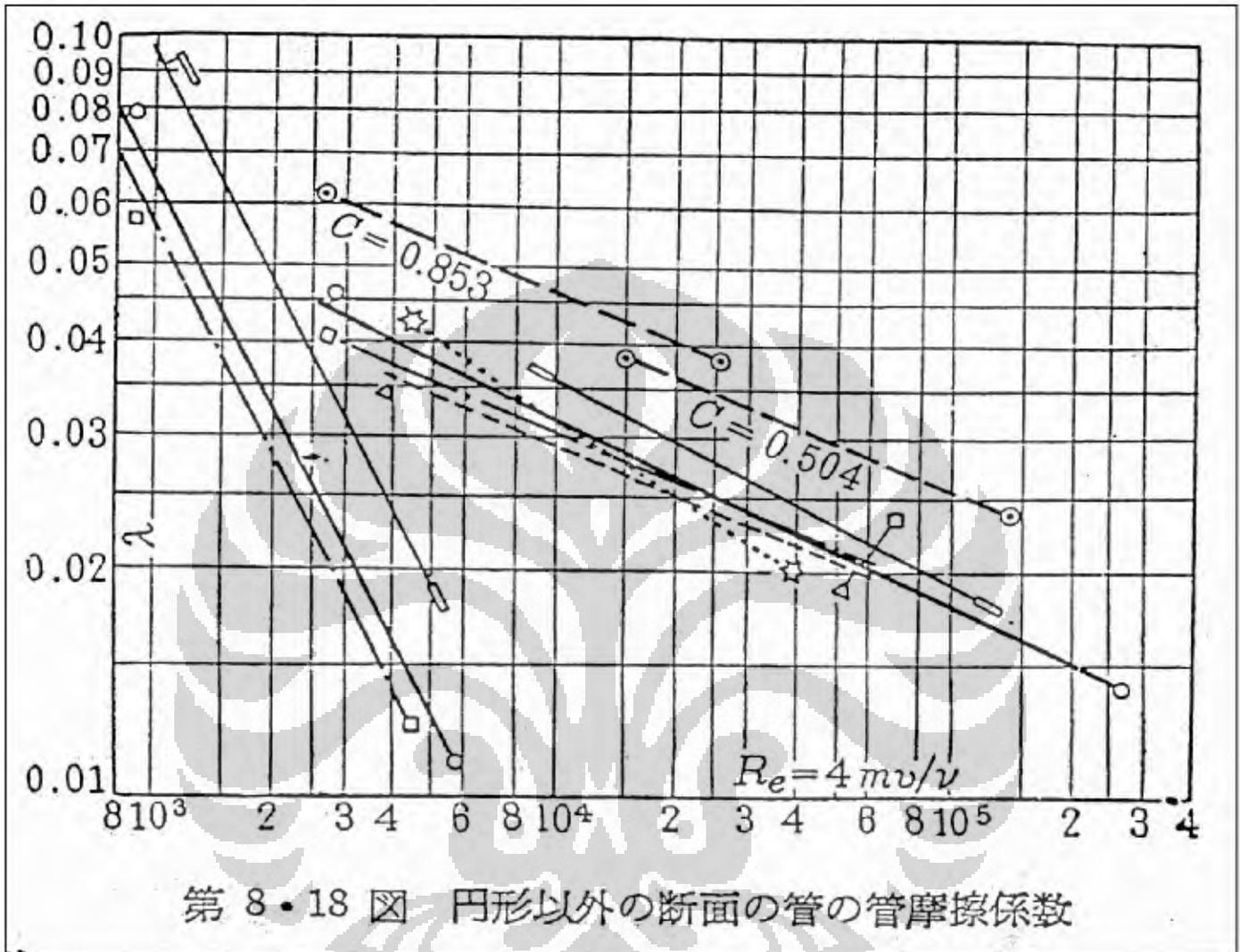
	Skala	:		Digambar	:	Muhammad Andriaz	Keterangan	
	Satuan	:	mm	No. Mesin	:	01		
	Tanggal	:	23/04/2011	Diperiksa	:	Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, Msc		
Teknik Mesin Universitas Indonesia		Alat Uji Pressure Drop					NO : 01	A4

## LAMPIRAN 2



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

LAMPIRAN 3



Grafik hubungan koefisien gesek dan bilangan Reynolds pada beberapa bentuk pipa

## LAMPIRAN 4

■ TABEL B. 1

Properti Fisika dari Air (Satuan BG)<sup>a</sup>

Temperatur (°F)	Densitas, $\rho$ (slugs/ft <sup>3</sup> )	Berat Jenis <sup>b</sup> , $\gamma$ (lb/ft <sup>3</sup> )	Viskositas Dinamik, $\mu$ (lb - s/ft <sup>2</sup> )	Viskositas Kinematik, $\nu$ (ft <sup>2</sup> /s)	Tegangan Permukaan <sup>c</sup> , $\sigma$ (lb/ft)	Tekanan Uap, $P_v$ [lb/in <sup>2</sup> (abs)]	Kecepatan Suara <sup>d</sup> , $c$ (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

<sup>a</sup>Didasarkan atas data dari *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988. Bila perlu, nilai-nilai diperoleh melalui interpolasi.

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

<sup>c</sup>Bersentuhan dengan udara.

<sup>d</sup>Dari R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

■ TABEL B. 2

Properti Fisika dari Air (Satuan SI)<sup>a</sup>

Temperatur (°C)	Densitas, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Jenis <sup>b</sup> , $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Viskositas Dinamik, $\mu$ (N - s/m <sup>2</sup> )	Viskositas Kinematik, $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Tegangan Permukaan <sup>c</sup> , $\sigma$ (N/m)	Tekanan Uap, $P_v$ [N/m <sup>2</sup> (abs)]	Kecepatan Suara <sup>d</sup> , $c$ (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

<sup>a</sup>Didasarkan atas data dari *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988.

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

<sup>c</sup>Bersentuhan dengan udara.

<sup>d</sup>Dari R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

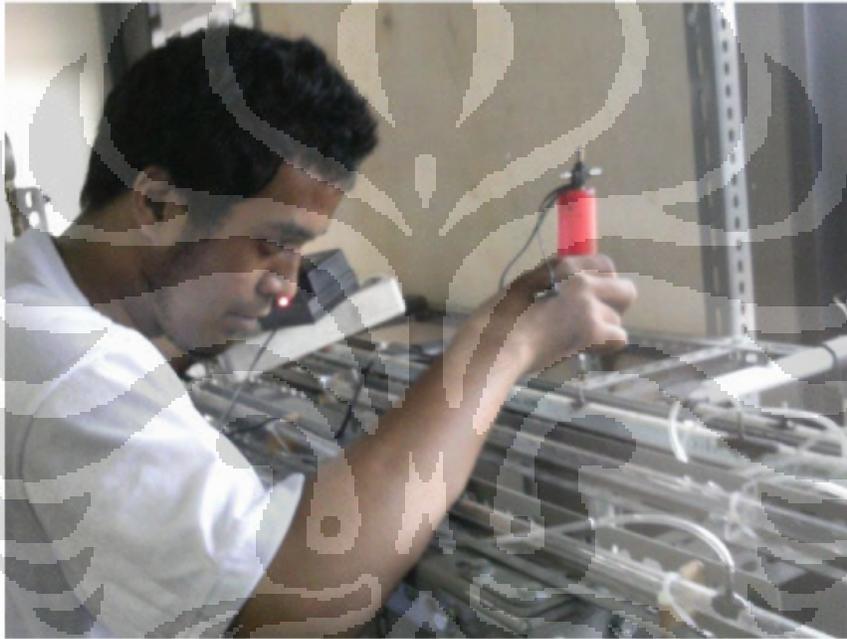
Properti fisika dari air murni Properti fisika dari air murni

## LAMPIRAN 5



Perakitan besi siku sebagai pipe rack

## LAMPIRAN 6



Pembuatan dan pembersihan pressure tab.

## LAMPIRAN 7



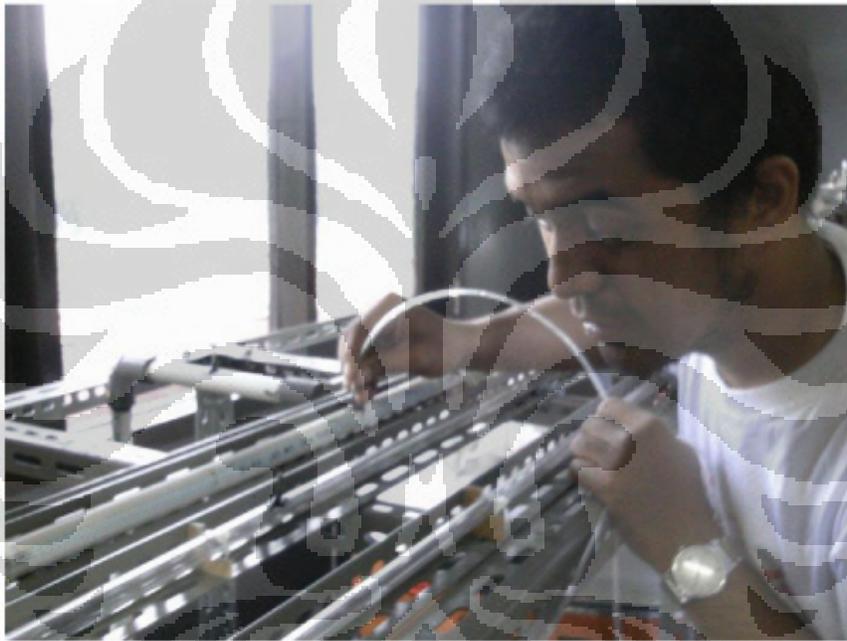
Pengukuran ketinggian dari pressure drop

## LAMPIRAN 8



Penggunaan pressure gauge sebagai pengganti manometer

## LAMPIRAN 9



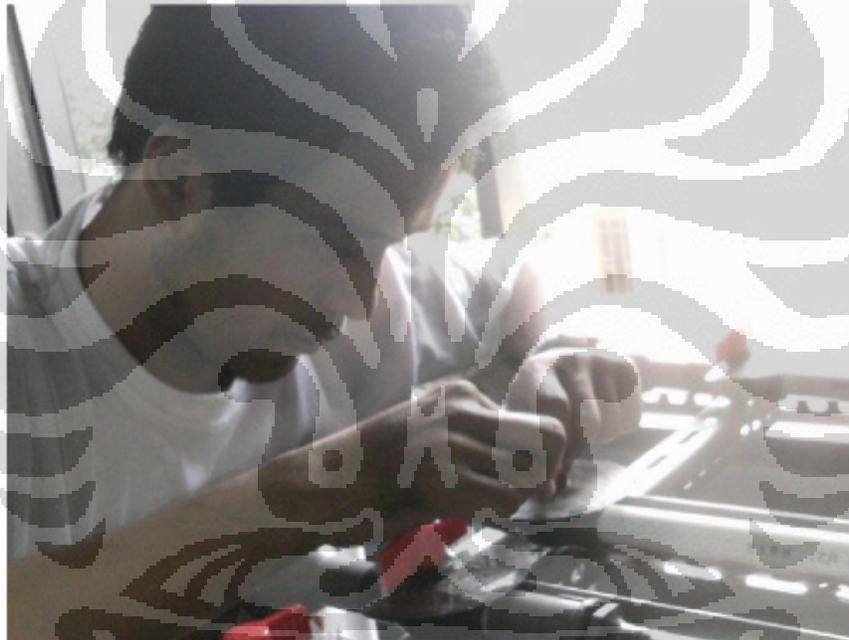
Selang manometer siap digunakan

LAMPIRAN 10



Kondisi valve dalam keadaan open

## LAMPIRAN 11



Pengaturan bukaan katup berdasarkan perbedaan busur derajat

## LAMPIRAN 12



Mengetahui berat dari air yang telah di uji

## LAMPIRAN 13



Mendapatkan kecepatan dan massa yang mengalir dalam pipa