



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EFEK PANJANG PIPA TERHADAP ALIRAN BERKEMBANG  
PENUH UNTUK AIR TAWAR DAN LARUTAN BIOPOLIMER  
CAIRAN BERAS HASIL FERMENTASI**

**SKRIPSI**

**FEBRY RACHMAT  
06 0604 2014**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
2010/2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EFEK PANJANG PIPA TERHADAP ALIRAN BERKEMBANG  
PENUH UNTUK AIR TAWAR DAN LARUTAN BIOPOLIMER  
CAIRAN BERAS HASIL FERMENTASI**

**SKRIPSI**

**FEBRY RACHMAT  
06 0604 2014**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
2010/2011**

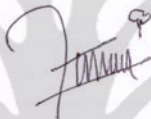
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Febry Rachmat

NPM : 0606 04 2014

Tanda Tangan :



Tanggal : 21 Juni 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Febry Rachmat

NPM : 0606 04 2014

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : EFEK PANJANG PIPA TERHADAP ALIRAN BERKEMBANG PENUH UNTUK AIR TAWAR DAN LARUTAN BIOPOLIMER CAIRAN BERAS HASIL FERMENTASI

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 : Ir. Sunaryo, Ph. D (.....)

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

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo (.....)

## Kata Pengantar

Puji syukur saya panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, 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 pada 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., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan dan persetujuan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Orang tua, Adik dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
3. Teman - Teman Mesin Universitas Indonesia 06, Teman – Teman D3 Mesin PNJ dan Rekan – Rekan **Well Services –Schlumberger** yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat dan dorongan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

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

Depok, 21 Juni 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Febry Rachmat  
NPM : 0606 04 2014  
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 Rights) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

EFEK PANJANG PIPA TERHADAP ALIRAN BERKEMBANG PENUH  
UNTUK AIR TAWAR DAN LARUTAN BIOPOLIMER CAIRAN BERAS  
HASIL FERMENTASI

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 : 21 Juni 2010

Yang menyatakan,



Febry Rachmat

Nama : Febry Rachmat  
NPM : 0606042014  
Judul : Efek Panjang Pipa Terhadap Aliran Berkembang Penuh Untuk  
Air Tawar dan Larutan Biopolimer Cairan Beras Hasil Fermentasi

### Abstrak

Turunan formula Navier-Stokes dipakai untuk menghitung kerugian tekanan aliran dalam pipa. Panjang pipa, diameter pipa, kecepatan fluida, kekasaran permukaan dan koefisien gesek yang mempengaruhi nilai kerugian tekanan. Formula tersebut tidak berlaku pada belokan/cabang pipa, setelah katup, adanya perubahan diameter (unsteady flow), adanya getaran, dll. Drag reduction dari solusi surfactant atau biopolymer telah menarik perhatian dari sisi konversi energy, dikarenakan penurunan secara mekanis tidak terjadi tetapi menghasilkan drag reduction yang besar di kondisi konsentrasi tertentu oleh karena itu solusi biopolymer banyak digunakan pada system pemipaan dan hasil percobaan dilapangan menunjukkan penurunan dari tenaga yang dibutuhkan pompa mencapai 30% dari kecepatan aliran normal Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan efek panjang aliran terhadap aliran berkembang penuh dengan membandingkan 3 macam fluida yaitu air murni ; biopolimer air tape ketan 100 ppm dan biopolimer air tape ketan 250 ppm . Di mana biopolimer merupakan hasil fermentasi beras. dan membuktikan keterbatasan penggunaan formula Navier-Stokes. Eksperimen ini menggunakan pipa acrylic berdiameter 12 mm. Variasi panjang pipa masuk terhadap titik pengukur tekanan (pressure tap) yaitu dengan menggeser pipa kecil masuk kedalam pipa uji hingga keadaan fluida mencapai kondisi berkembang penuh. Pada pipa uji dipasang 4 buah pressure tap dengan jarak masing-masing tap 250 mm. Air murni sebagai fluida uji. Debit yang keluar diukur dengan gelas ukur pada periode waktu untuk mendapatkan nilai bilangan Reynolds. Hasil menunjukkan bahwa karakteristik panjang aliran berkembang penuh untuk fluida dengan campuran konsentrasi biopolymer lebih besar dibandingkan dengan air murni.

**Kata kunci:** rasio panjang per diameter, biopolimer, fully Developed flow, aliran hidrodinamik, turbulen.

Name : Febry Rachmat  
NPM : 0606042014  
Title : Effect of Inlet Length (Fully Develop Flow) In Circular Pipe  
With Water And Biopolimer Dry Melt Rice

#### Abstract

Navier-Stokes equations derived formula used to calculate the pressure loss in pipe flow. The length of the pipe, the pipe diameter, the fluid velocity, surface roughness and coefficient of friction that affect the value of pressure loss. The formula does not apply to the branch / branch pipes, the valves, the change in diameter (unsteady flow), the presence of vibration, etc.. Drag reduction of surfactant solution or a biopolymer has attracted attention from the conversion of energy, due to a mechanical reduction does not occur but produced a large drag reduction in a specific concentration of condition therefore biopolymer solutions are widely used in piping systems and field experimental results show a decrease of available power pumps needed to reach 30% of normal flow velocity This study aims to prove the effect of flow length to the flow is fully developed by comparing three kinds of fluid that is pure water, 100 ppm biopolymer and 250 ppm biopolymer. Where biopolymer is fermented rice. and prove the limitations of the use of the Navier-Stokes formula. These experiments using 12 mm diameter acrylic pipe. Length variation on the point of intake pressure gauge (pressure tap) that is by sliding a small pipe into the test tube until the fluid reaches the state is fully developed conditions. In test tube fitted with a pressure tap four fruit each tap distance 250 mm. Pure water as test fluid. The exit discharge is measured with a measuring cup in the period of time to get the value of Reynolds number. Results showed that the characteristic length for the fluid flow is fully developed with a mixture of biopolymer concentration greater than pure water.

Keywords: length per diameter ratio, biopolymers, fully Developed flow, flow hydrodynamic, turbulent.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.3 PEMBatasan MASALAH .....	3
1.4 METODE PENELITIAN.....	3
1.5 PERUMUSAN MASALAH .....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II DASAR TEORI	
2.1 DEFINISI FLUIDA.....	7
2.2 KLASIFIKASI ALIRAN FLUIDA.....	8

2.3 FLUIDA NEWTONIAN DAN NON NEWTONIAN.....	8
2.4 PERSAMAAN PADA FLUIDA NEWTONIAN.....	9
2.5 SIFAT SIFAT FLUIDA	
2.5.1 Densitas.....	11
2.5.2 Viskositas.....	12
2.5.3 Bilangan reynolds.....	13
2.6 SIFAT SIFAT UMUM ALIRAN PIPA	
2.6.1 Aliran Laminar Dan Turbulen.....	14
2.6.2 Transisi dari aliran laminar menuju aliran turbulen.....	15
2.6.3 Tekanan dan Tegangan Geser.....	17
2.7 ANALISIS DIMENSIONAL ALIRAN PIPA	
2.7.1 Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Aliran Dalam Pipa.....	18
2.7.2 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh.....	18
2.7.3 Koefisien Gesek.....	20
2.7.4 Persamaan Persamaan Gerak untuk Fluida Viskos.....	22
2.7.5 Kerugian Minor.....	24
<b>BAB III PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN</b>	
3.1 PERANCANGAN ALAT PENGUJIAN.....	26
3.2 PERALATAN PENGUJIAN.....	27
3.3 PROSEDUR PENGUJIAN	
3.3.1 Ruang Lingkup Pengujian.....	27

3.3.2 Lokasi Pengujian.....	27
3.3.3 Susunan Alat.....	28
3.3.4 Persiapan Pengujian.....	28
3.4 TAHAP PENGUJIAN.....	29
3.5 PERALATAN PENGUJIAN	
3.5.1 Rangka Uji.....	31
3.5.2 Pompa Sentrifugal.....	31
3.5.3 Pipa Masuk .....	32
3.5.4 Manometer.....	32
3.6 PERALATAN PENDUKUNG	
3.6.1 Gelas Ukur.....	33
3.6.2 Stop Watch.....	33
3.6.3 Termometer.....	33
3.6.4 Timbangan Digital.....	34
3.6.5 Reservoir.....	35

#### BAB IV PERHITUNGAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 PERHITUNGAN DATA.....	36
4.2 PENGUJIAN	
4.2.1 Contoh Pehitungan Pada Pengujian Dengan Air Murni.....	37
4.2.2 Hasil Pengolahan Data.....	38
4.2.2.1 Hasil Pengolahan Data Untuk Fluida Air Murni.....	38

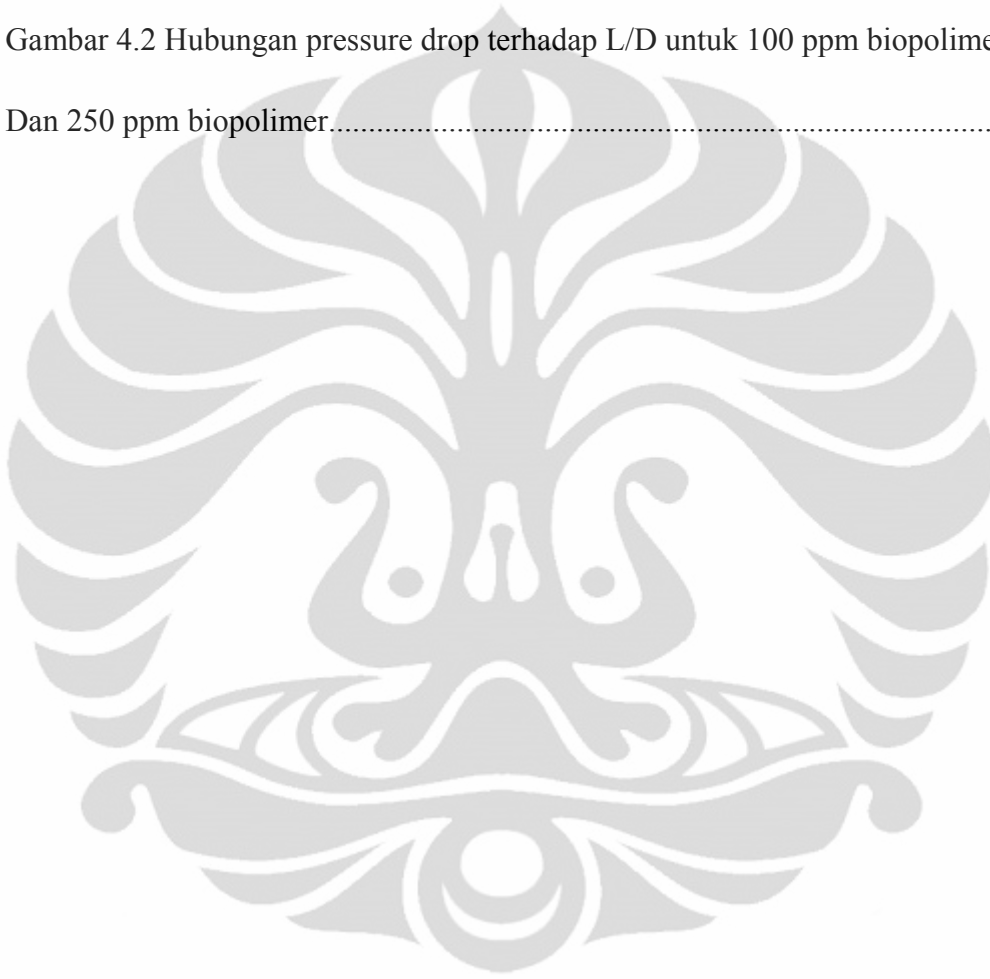
4.2.2.2 Hasil Pengolahan Data Untuk 100 ppm biopolimer.....	39
4.2.2.3 Hasil Pengolahan Data Untuk 250 ppm biopolimer.....	40
4.2.3 Analisa Hasil Pengujian.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 KESIMPULAN.....	43
5.2 SARAN .....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	46



## DAFTAR GAMBAR

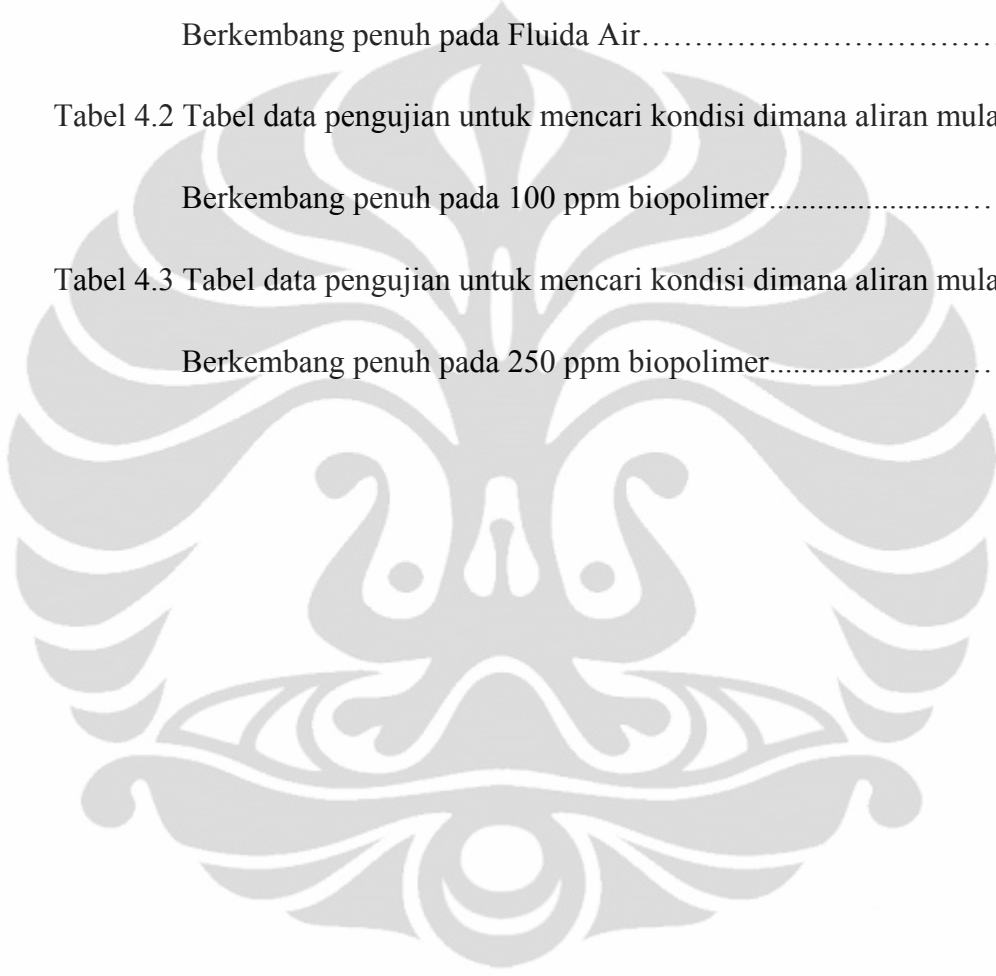
Gambar 2.1 Klasifikasi Aliran Fluida.....	8
Gambar 2.2 Variasi linear dari tegangan geser terhadap laju regangan geser .....	9
Gambar 2.3 Ilustrasi Jenis Aliran.....	14
Gambar 2.4 Transisi dari aliran Laminar Menjadi Turbulen.....	16
Gambar 2.5 Distribusi Tekanan sepanjang pipa horizontal.....	17
Gambar 2.6 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang Penuh pada sistem Pipa.....	19
Gambar 2.7 Faktor gesek sebagai fungsi Bilangan Reynolds dan hubungan kekasaran Pada pipa bulat. Diagram Moody .....	21
Gambar 2.8 Volume pengatur yang digunakan untuk menghitung koefisien Kerugian untuk perbesaran mendadak.....	25
Gambar 3.1 Skema Alat Pengujian.....	26
Gambar 3.2 Penampang manometer pada pipa Uji.....	28
Gambar 3.3 Rangka Alat Uji.....	31
Gambar 3.4 Pompa Sentrifugal.....	32
Gambar 3.5 Penampang Pipa Uji dan Pipa Inlet.....	32
Gambar 3.6 Gelas Ukur.....	33
Gambar 3.7 Stopwatch.....	34
Gambar 3.9 Timbangan Digital .....	34

Gambar 3.10 Reservoir.....	35
Gambar 4.1 Hubungan pressure drop terhadap L/D untuk air dan 100 ppm biopolimer.....	41
Gambar 4.2 Hubungan pressure drop terhadap L/D untuk 100 ppm biopolimer Dan 250 ppm biopolimer.....	42



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi dimana aliran mulai Berkembang penuh pada Fluida Air.....	38
Tabel 4.2 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi dimana aliran mulai Berkembang penuh pada 100 ppm biopolimer.....	39
Tabel 4.3 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi dimana aliran mulai Berkembang penuh pada 250 ppm biopolimer.....	40



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Suatu sistem transfer fluida dari suatu tempat ke tempat lain biasanya terdiri dari pipa, valve, sambungan (elbow, tee, shock dll) dan pompa. Jadi pipa memiliki peranan yang penting dalam suatu sistem transfer fluida. Pipa memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk penampang serta material yang bervariasi. Material pipa bermacam-macam, seperti plastik, PVC, logam, acrylic, dan lainlain. Ukuran pipa juga bervariasi dari yang berukuran kecil sampai besar dan diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti untuk penelitian, pemakaian rumah tangga, industri makanan, industri manufaktur bahkan pada bidang industri minyak dan gas. Dari segi bentuk penampangnya, pipa dengan penampang lingkaran atau bulat adalah yang paling banyak digunakan, tapi tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan pipa dengan bentuk penampang yang lain.

Dalam suatu sistem perpipaan aliran fluida pasti akan mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui oleh aliran fluida tersebut. Dalam mekanika fluida penurunan tekanan tersebut dikarenakan fluida yang mengalir mengalami berbagai macam kerugian sepanjang aliran fluida seperti panjang pipa, besar kecilnya diameter pipa, kekasaran permukaan dan viskositas dari fluida tersebut. Penampang pipa dengan ukuran yang berbeda atau karena adanya pembesaran atau pengecilan mendadak akan menimbulkan pola aliran fluida menjadi tidak beraturan dan kondisi ini merupakan suatu bentuk kerugian aliran dalam suatu sistem perpipaan. Untuk mengetahui efek dari pada panjang pipa masuk ( inlet ) terhadap aliran fluida setelah melewati pipa penulis melakukan percobaan ini. Karena panjang pipa juga me



upakan salah satu kerugian dalam sistem perpipaan. Disamping itu aliran fluida dalam pipa akan terjadi friksi atau gesekan antara fluida dan dinding pipa. Sehingga secara teoritis panjang pipa masuk sangat berpengaruh pada timbulnya kerugian, kondisi ini dikarenakan aliran yang keluar mengalami turbulensi yang cepat sehingga aliran mengalami penurunan tekanan yang drastis. Turbulensi ini pada umumnya akan terjadi pada saat aliran fluida melewati pipa dengan pembesaran yang mendadak.

Untuk mengurangi kerugian ini biasanya digunakan pipa yang lebih panjang, agar terjadi aliran fluida yang berkembang penuh (fully developed flow). Tapi, faktor

dimensi pipa yang semakin panjang juga merupakan suatu kerugian, karena pasti akan timbul gesekan antara fluida dan dinding. Disamping itu secara ekonomis semakin panjang suatu pipa tentu akan menambah beban energi untuk mentransfer fluida dan efisiensi pemakaian pipa. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen untuk mencoba meminimalisasi jarak minimum pada pipa masuk agar dalam perhitungan bisa menggunakan formula Navier-Stokes.

Untuk mengetahui berapa jarak minimum dari pipa inlet masuk dapat diketahui melalui penelitian dan percobaan dengan menggeser jarak dan posisi pipa inlet ( masuk ) pada titik-titik yang telah ditentukan. Pada eksperimen ini ada banyak variasi posisi dari pipa inlet , yaitu panjang masuk sebesar 30D, 40D dan seterusnya sampai 170D dengan interval 10D. Notasi “D” menunjukkan diameter dari pada pipa uji dimana tekanan aliran fluida akan diukur, dan panjang yang dimaksud adalah jarak antara posisi inlet dengan posisi pressure tap pertama. Alat pengujian yang dibuat memiliki katup yang dapat diatur bukaan katupnya sehingga variasi volume alir bisa diset sesuai kebutuhan. Tujuan mengatur bukaan katup adalah untuk mendapatkan bilangan Reynolds yang dibutuhkan dalam proses eksperimen ini.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan efek panjang aliran terhadap aliran berkembang penuh dengan membandingkan 3 macam fluida yaitu 100% air ; air dengan 20% biopolimer dan air dengan biopolimer. Di mana biopolimer merupakan hasil fermentasi beras.

## 1.3 PEMBATAAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Fluida yang digunakan adalah termasuk dalam fluida steady incompressible (tunak tak mampu mampat) sehingga persamaan yang digunakan adalah persamaan untuk aliran tunak tak mampu mampat.
- Viskositas fluida disesuaikan dengan keadaan temperatur.
- Pipa uji yang digunakan sebagai pengukuran adalah pipa halus (acrylic) dengan ukuran diameter dalam sebesar 12 mm.

## 1.4 METODE PENELITIAN

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa metode, antara lain:

### 1. Konsultasi dan diskusi dengan dosen pembimbing.

Merumuskan tema skripsi, menentukan dasar teori yang digunakan, pembuatan alat uji penelitian dan pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang ingin didapat dari penelitian skripsi.

### 2. Membuat alat uji skala laboratorium.

Merancang dan membuat instalasi alat uji yang dijadikan untuk melakukan pengambilan data.

### 3. Pengumpulan data.

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan:

- Studi percobaan (data percobaan).
- Studi literatur dan internet yang berkenaan dengan tema yang dibahas.
- Melakukan diskusi dengan sesama mahasiswa dan dosen pembimbing.

#### 4. Pengolahan data.

Dengan menggunakan rumus perhitungan dari referensi dilakukan perhitungan dan pengolahan data. Pengolahan data dibantu dengan menggunakan software Microsoft Excel, setelah itu hasil pengolahan data dikonsultasikan terlebih dahulu dengan dosen pembimbing untuk mendapatkan pengarahan lebih lanjut.

#### 5. Analisa data.

Data yang diperoleh diplot ke bentuk grafik untuk kemudian dianalisa dan dibuat kesimpulan sesuai dasar-dasar teori.

### **1.5 PERUMUSAN MASALAH**

Untuk mendapatkan data, pengujian dilakukan dengan dua metode yaitu dengan pengujian langsung dan pengujian tidak langsung. Dimana pengujian langsung adalah suatu pengujian dimana variabel yang diukur dapat langsung diketahui nilainya dari proses pengujian tersebut, data langsung ini antara lain perbedaan tekanan pada manometer, massa fluida, berat jenis fluida dan temperatur fluida. Sedangkan pengujian tidak langsung adalah pengujian dimana untuk mendapatkan data, variabel yang diperoleh dari pengujian harus dilakukan proses perhitungan menggunakan rumus dari referensi, baru kemudian diperoleh suatu hasil. Data tidak langsung ini meliputi: kapasitas aliran, kecepatan aliran, bilangan Reynolds, koefisien gesek.

Pada pengujian ini penguji melakukan suatu eksperimen untuk dapat mengetahui pengaruh variasi panjang pipa masuk ( inlet ) terhadap nilai kerugian tekanan aliran fluida didalam pipa. Faktor bilangan Reynolds merupakan salah satu

parameter untuk mengetahui karakteristik aliran fluida didalam pipa, untuk mencari nilai bilangan Reynolds dilakukan suatu percobaan-percobaan dengan mengumpulkan data mentah seperti massa, waktu selama pengambilan fluida, beda tekanan, temperatur, dll. Setelah itu data-data tersebut diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan mekanika fluida yang berhubungan dengan faktor diatas. Setelah data hasil penelitian di dapat dan parameter yang ingin digunakan terpenuhi, selanjutnya hasilnya dapat disimpulkan melalui grafik perbandingan kerugian tekanan dan panjang aliran.

Adapun fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah air ; 20% biopolimer ; 30% biopolimer dengan kondisi temperatur yang stabil yaitu  $T=27,5^{\circ}\text{C}$ . Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi pipa terhadap pergeseran pada titik atau posisi yang sudah ditentukan dan dengan variasi bukaan katup. Dengan adanya pergeseran posisi inlet maka akan dapat diketahui pengaruh panjang pipa masuk terhadap nilai pengukuran kerugian tekanan.

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini memuat teori-teori penunjang dalam membahas masalah yang terkait dalam penulisan, yaitu tentang persamaan-persamaan yang berhubungan dengan aliran fluida dalam pipa sirkular dan teori tentang transisi aliran laminar dan turbulen.

### **BAB III PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

Bab ini membahas tentang peralatan-peralatan yang dipakai dalam pengujian, instalasi alat pengujian, prosedur pengujian dan pengambilan data.

### **BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA**

Bab ini membahas tentang proses-proses perhitungan data, pembuatan grafik serta menganalisa data percobaan yang telah didapat.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan penelitian dan menganalisa hasilnya.



# BAB II

## DASAR TEORI

### 2.1 DEFINISI FLUIDA

Fluida adalah zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadahnya atau zat yang akan berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi oleh suatu tegangan geser. Bila berada dalam keseimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau gaya geser. Semua fluida memiliki suatu derajat kompresibilitas dan memberikan tahanan kecil terhadap perubahan bentuk.

Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan atau gas. Perbedaan-perbedaan utama antara cairan dan gas adalah:

- (a) cairan praktis tidak kompresibel, sedangkan gas kompresibel
- (b) cairan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh bagian wadahnya.

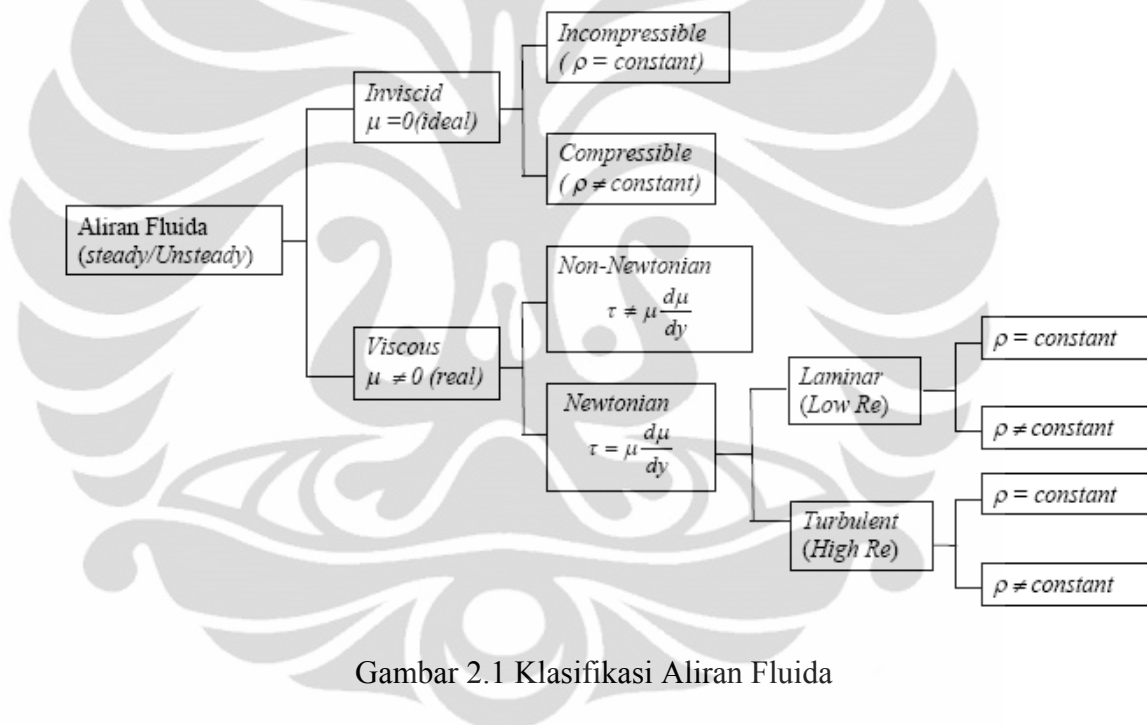
Fluida memiliki sifat tidak menolak terhadap perubahan bentuk dan kemampuan untuk mengalir (atau umumnya kemampuannya untuk mengambil bentuk dari wadahnya). Sifat ini biasanya dikarenakan sebagai fungsi dari ketidakmampuan fluida terhadap tegangan geser (*shear stress*) dalam ekuilibrium statik. Konsekuensi dari sifat ini adalah hukum Pascal yang menekankan pentingnya tekanan dalam mengkarakterisasi bentuk fluida.

Fluida diklasifikasikan sebagai fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian. Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan yang linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dalam fluida bukan Newtonian terdapat hubungan tak linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk sudut.

## 2.2 KLASIFIKASI ALIRAN FLUIDA

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran inviscid dan viscous. Fluida viscous diklasifikasikan sebagai fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian. Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan linear antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dengan laju perubahan bentuk yang diakibatkan dengan mengikuti hukum viskositas Newton.

Aliran fluida pada umumnya diklasifikasikan sebagai berikut:

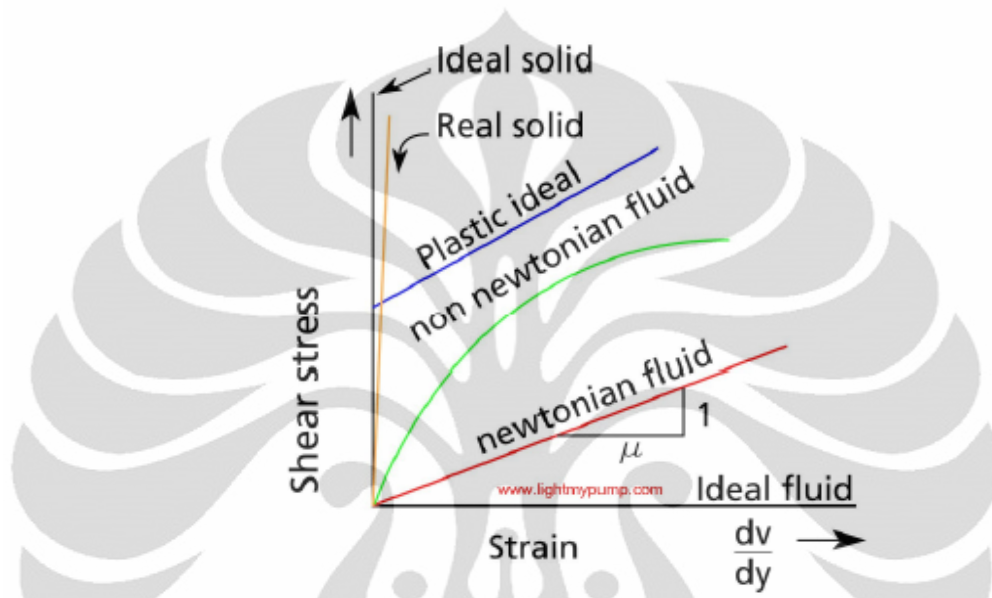


Gambar 2.1 Klasifikasi Aliran Fluida

## 2.3 FLUIDA NEWTONIAN DAN NON-NEWTONIAN

Sebuah fluida Newtonian didefinisikan sebagai fluida yang tegangan gesernya berbanding lurus secara linier dengan gradien kecepatan pada arah tegak lurus dengan bidang geser. Definisi ini memiliki arti bahwa fluida newtonian akan mengalir terus tanpa dipengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Sebagai contoh, air adalah fluida Newtonian karena air memiliki properti fluida sekalipun pada keadaan diaduk. Sebaliknya, bila fluida non-Newtonian diaduk, akan tersisa suatu "lubang". Lubang ini akan terisi seiring dengan berjalannya waktu. Sifat seperti ini dapat teramati pada material-material seperti puding. Peristiwa lain yang

terjadi saat fluida non-Newtonian diaduk adalah penurunan viskositas yang menyebabkan fluida tampak "lebih tipis" (dapat dilihat pada cat). Ada banyak tipe fluida non-Newtonian yang kesemuanya memiliki properti tertentu yang berubah pada keadaan tertentu. Hal ini diilustrasikan dengan jelas pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Variasi linear dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk beberapa jenis fluida. (Sumber: Munson, et al., 2002)

**2.4 PERSAMAAN PADA FLUIDA NEWTONIAN**

Konstanta yang menghubungkan tegangan geser dan gradien kecepatan secara linier dikenal dengan istilah viskositas. Persamaan yang menggambarkan perlakuan fluida Newtonian adalah:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:  $\tau$  = tegangan geser yang dihasilkan oleh fluida

$\mu$  = viskositas fluida-sebuah konstanta proporsionalitas

$\frac{dv}{dx}$  = gradien kecepatan yang tegak lurus dengan arah geseran



Viskositas pada fluida Newtonian secara definisi hanya bergantung pada temperatur dan tekanan dan tidak bergantung pada gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Jika fluida bersifat inkompresibel maka viskositas bernilai tetap di seluruh bagian fluida.

Persamaan yang menggambarkan tegangan geser (dalam koordinat kartesian) adalah:

$$\tau_{ij} = \mu \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

$\tau_{ij}$  = adalah tegangan geser pada bidang *ith* dengan arah *jth*

$v_i$  = adalah kecepatan pada arah *ith*

$x_j$  = adalah koordinat berarah *jth*

Jika suatu fluida tidak memenuhi hubungan ini, fluida ini disebut fluida non-Newtonian.

Fluida Newtonian (istilah yang diperoleh dari nama Isaac Newton) adalah suatu fluida yang memiliki kurva tegangan/regangan yang linier. Contoh umum dari fluida yang memiliki karakteristik ini adalah air. Keunikan dari fluida newtonian adalah fluida ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Hal ini disebabkan karena viskositas dari suatu fluida newtonian tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Viskositas dari suatu fluida newtonian hanya bergantung pada temperatur dan tekanan. Viskositas sendiri merupakan suatu konstanta yang menghubungkan besar tegangan geser dan gradien kecepatan pada persamaan

Perbedaan karakteristik akan dijumpai pada fluida *non-newtonian*. Pada fluida jenis ini, viskositas fluida akan berubah bila terdapat gaya yang bekerja pada fluida (seperti pengadukan).

## 2.5 SIFAT-SIFAT FLUIDA

### 2.5.1 Densitas

Densitas merupakan jumlah suatu zat pada suatu unit volume. Densitas dapat dinyatakan dalam tiga bentuk, yaitu:

#### 1) Densitas Massa

Merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume, dapat dirumuskan

dalam bentuk persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:  $m$  = massa (kg)

$V$  = volume (m<sup>3</sup>)

$\rho$  = densitas massa (kg/m<sup>3</sup>)

dan dimensinya adalah ML<sup>-3</sup>. Harga standardnya pada tekanan  $p = 1,013 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup> dan temperature  $T = 288,15$  K untuk udara adalah 1,23 kg/m<sup>3</sup> dan untuk air adalah 1000 kg/m<sup>3</sup>.

#### 2) Berat Spesifik

Didefenisikan sebagai densitas massa dikalikan dengan gravitasi, dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana unit berat spesifik adalah N/m<sup>3</sup> dan dimensi = ML<sup>-3</sup>T<sup>-2</sup>, untuk udara  $\gamma = 12,07$  N/m<sup>3</sup> dan air  $\gamma = 9,81 \times 10^3$  N/m<sup>3</sup>.

### 3) Densitas Relatif ( s.g )

Densitas relatif disebut juga *specific gravity* (s.g) yaitu perbandingan antara densitas massa atau berat spesifik suatu zat terhadap densitas massa atau berat spesifik suatu standard zat, dimana pada umumnya standard zat tersebut adalah air pada temperatur 4oC. Densitas relatif tidak memiliki satuan.

$$s.g = \frac{\gamma_{zat}}{\lambda_{air}} = \frac{\rho_{zat}}{\rho_{air}} \dots\dots\dots (2.5)$$

### 2.5.2 Viskositas

Kekentalan (viskositas) suatu fluida adalah sifat yang menentukan besar daya tahannya terhadap gaya geser atau ukuran penolakan sebuah fluida terhadap perubahan bentuk di bawah tekanan shear. Kekentalan terutama diakibatkan oleh saling-pengaruh antara molekul-molekul fluida. Viskositas menggambarkan penolakan dalam fluida kepada aliran dan dapat dijadikan sebagai sebuah cara untuk mengukur gesekan fluida. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yaitu:

#### 1) Viskositas Dinamik ( $\mu$ )

Merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas dinamik untuk air bervariasi sesuai dengan temperaturnya, untuk temperatur kamar (26,5 oC) besarnya viskositas dinamik adalah  $8,6 \times 10^{-4}$  kg/ms. Tabel 2.1 pada lampiran memberikan sifatsifat air sesuai dengan temperatur.

#### 2) Viskositas Kinematik ( $\nu$ )

Merupakan perbandingan viskositas dinamik ( $\mu$ ) terhadap kerapatan (densitas) massa ( $\rho$ ):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.6)$$

Viskositas kinematik muncul dalam banyak penerapan, misalnya dalam bilangan Reynolds yang tanpa dimensi. Viskositas kinematik untuk air pada temperatur 26,5 oC adalah  $8,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Untuk temperatur yang berbeda, nilai viskositas dapat dilihat pada lampiran.

### 2.5.3 Bilangan Reynolds

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ( $v\rho$ ) terhadap gaya viskos ( $\mu/L$ ) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883.

$$\text{Bilangan Reynolds, } Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} = \frac{4q}{\pi mD} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:  $V$  = kecepatan rata-rata dalam m/s

$d$  = diameter dalam pipa dalam m

$\nu$  = viskositas kinematik fluida dalam  $\text{m}^2/\text{s}$  atau  $\nu = \mu / \rho$

$\rho$  = densitas massa fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ )

$q$  = Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

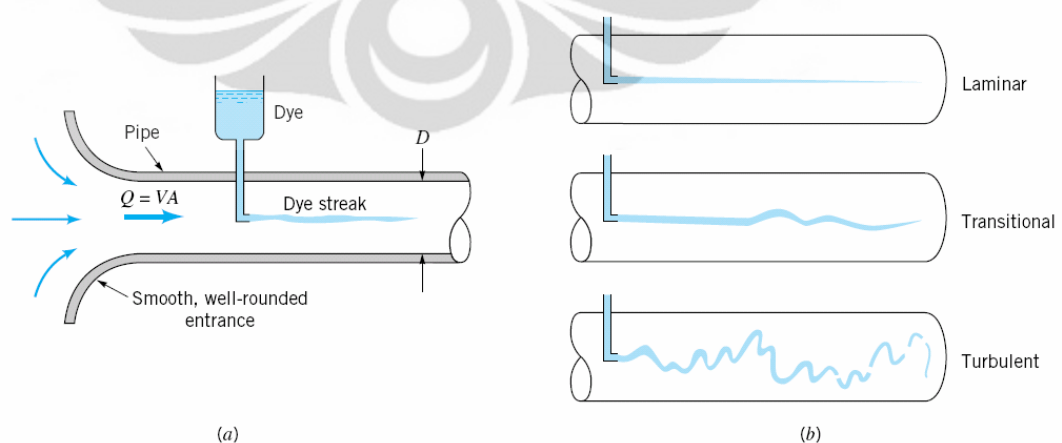
Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang berfungsi untuk menentukan bentuk aliran apakah aliran suatu fluida laminar atau turbulen serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepataannya diturunkan sedemikian sehingga  $Re$  lebih kecil dari 2000. Untuk instalasi pipa biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan  $Re$  dari 2000 sampai 4000.

Bilangan Re yang besar menunjukkan aliran yang sangat turbulen dengan kerugian yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Dalam aliran laminar kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan, meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan yang saling tukar menukar momentum secara molekular.

## 2.6. SIFAT-SIFAT UMUM ALIRAN PIPA

### 2.6.1 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen

Aliran fluida di dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau aliran turbulen. Osborne Reynolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dan mengklasifikasikan dua aliran ini dengan menggunakan peralatan sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Aliran laminar terjadi pada partikel-partikel (massa molar yang kecil) fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, yang mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian ke bagian lainnya. Turbulensi membangkitkan tegangan geser yang lebih besar di seluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketakmampubalikan (irreversibilitas) atau kerugian.



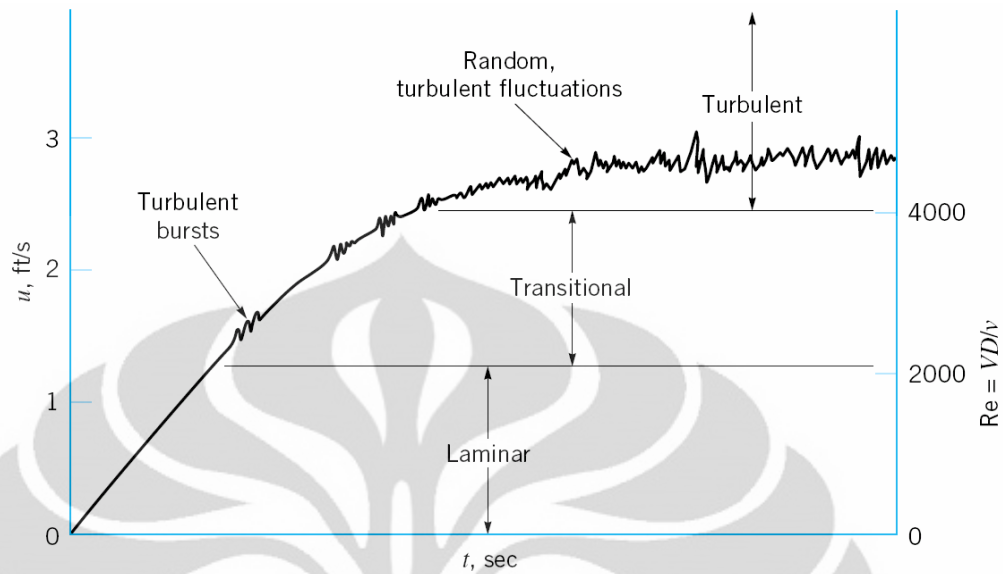
Gambar 2.3 (a) Eksperimen untuk mengilustrasikan jenis aliran (b) Guratan zat pewarna yang khas. (Sumber: Munson, et al., 2002)

Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan. Aliran laminar mengikuti hukum Newton tentang tegangan viskositas, yang menghubungkan tegangan geser dengan laju perubahan bentuk sudut. Aliran laminar tidak stabil dalam situasi yang menyangkut gabungan viskositas yang rendah, kecepatan yang tinggi, atau laluan aliran yang besar, serta berubah menjadi aliran turbulen. Sifat pokok aliran, yaitu laminar atau turbulen serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar ditunjukkan oleh bilangan Reynolds.

Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian lainnya. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampuan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti vorteks-vorteks dan pusaran-pusaran yang besar di sungai atau hempasan udara. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya bilangan Reynolds.

### **2.6.2 Transisi dari Aliran Laminar menuju Aliran Turbulen**

Aliran diklasifikasikan menjadi aliran laminar atau turbulen. Parameter bilangan Reynolds atau bilangan Mach tergantung pada situasi aliran spesifik. Misalnya, aliran di dalam sebuah pipa dan aliran sepanjang pelat datar dapat laminar atau turbulen, tergantung pada nilai bilangan Reynolds yang terlibat. Untuk aliran laminar bilangan Reynolds harus kurang dari kira-kira 2100 sedangkan untuk aliran turbulen yaitu lebih besar dari kira-kira 4000. Aliran sepanjang pelat datar transisi antara laminar dan turbulen terjadi pada bilangan Reynolds kira-kira 500.000, di mana suku panjang dalam bilangan Reynolds adalah jarak yang diukur dari ujung muka (*leading edge*) pelat tersebut.



Gambar 2.4 Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen di dalam sebuah pipa.

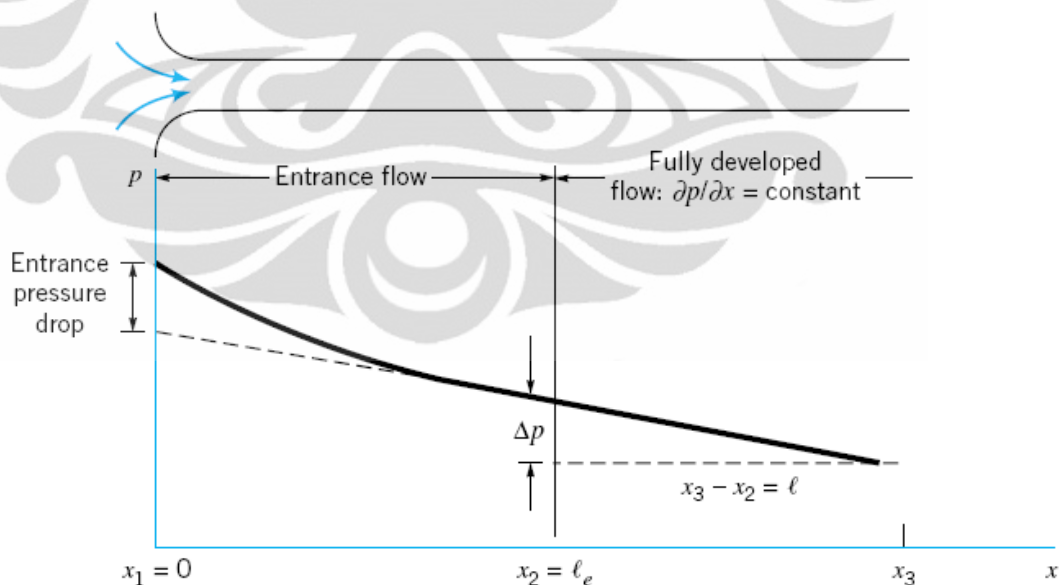
(Sumber: Munson, et al., 2002)

Aliran sepanjang pipa mula-mula terisi fluida dalam keadaan diam, ketika katup dibuka untuk memulai aliran, kecepatan aliran, dan tentunya bilangan Reynolds meningkat dari nol (tidak ada aliran) sampai nilai maksimum alirannya tunak seperti pada gambar 2.4. Diasumsikan bahwa proses transien ini cukup lambat sehingga efek tak tunak dapat diabaikan (aliran kuasitunak). Selama periode awal, bilangan Reynolds cukup kecil untuk terjadinya aliran laminar. Setelah beberapa saat, bilangan Reynolds mencapai 2100 dan aliran memulai transisi-nya menuju kondisi turbulen. Letupan terputus-putus turbulensi (*burst of turbulence*) muncul. Dengan meningkatnya bilangan Reynolds seluruh aliran menjadi turbulen. Aliran tetap turbulen selama bilangan Reynolds melampaui kira-kira 4000.

Sifat alamiah yang tidak beraturan dan acak adalah ciri khas dari aliran turbulen. Karakter dari banyak sifat penting aliran tersebut (penurunan tekanan, perpindahan kalor, dan lain-lain) sangat tergantung pada keberadaan dari sifat alamiah dari fluktuasi atau keacakan turbulen yang ditunjukkan.

### 2.6.3 Tekanan dan Tegangan Geser

Beda tekanan ( $\Delta p = p_1 - p_2$ ) antara satu bagian pipa horizontal mendorong fluida mengalir melewati pipa. Efek viskos memberikan efek gaya penghambat sehingga mengimbangi gaya tekan, jika efek viskos tidak ada dalam aliran, tekanan akan konstan di seluruh pipa. Dalam daerah aliran yang tidak berkembang penuh, seperti pada daerah masuk sebuah pipa, fluida mengalami percepatan atau perlambatan selagi mengalir (profil kecepatan berubah dari profil seragam pada bagian masuk pipa menjadi profil berkembang penuhnya pada ujung akhir daerah masuk), pada daerah masuk terdapat keseimbangan antara gaya-gaya tekanan, viskos dan inersia (percepatan). Hasilnya adalah distribusi tekanan sepanjang pipa horizontal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Besarnya gradien tekanan,  $\partial p / \partial x$ , lebih besar di daerah masuk daripada di daerah berkembang penuh, dimana gradien tersebut merupakan sebuah konstanta,  $\partial p / \partial x = -\Delta p / l < 0$ . Sifat alamiah aliran pipa sangat tergantung apakah aliran tersebut laminar atau turbulen.



Gambar 2.5 Distribusi tekanan sepanjang pipa horizontal.

(Sumber: Munson, et al., 2002)



## 2.7 ANALISIS DIMENSIONAL ALIRAN PIPA

### 2.7.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aliran dalam Pipa

Aliran fluida dalam pipa banyak dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yang mengakibatkan penurunan tekanan atau kerugian tekanan sepanjang aliran pipa tersebut. Yaitu:

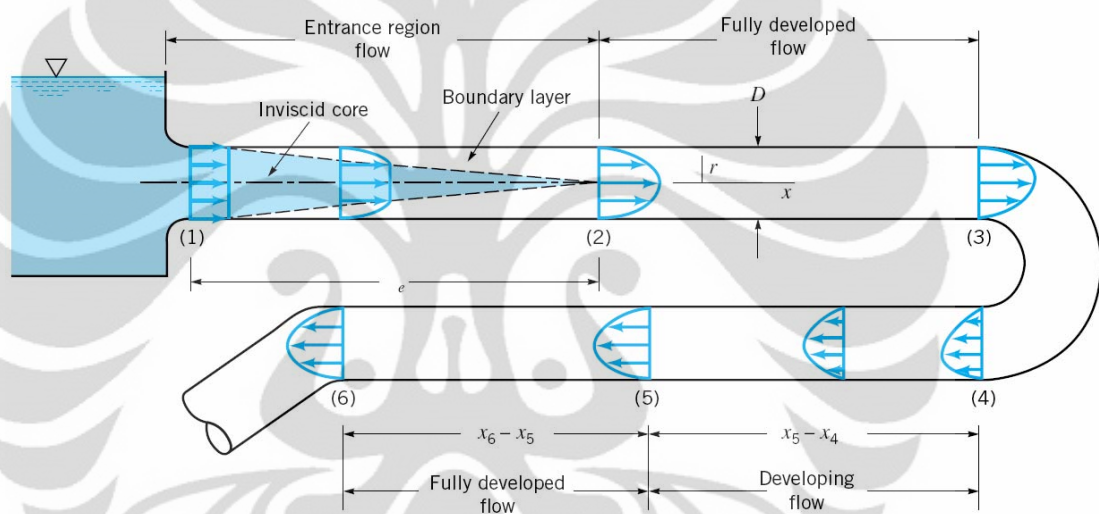
- Viskositas, densitas, kecepatan aliran fluida.
- Perubahan temperatur fluida yang mengubah viskositas dan densitas fluida.
- Panjang, diameter dalam, pengaruh aliran turbulen, dan kekasaran permukaan pipa.
- Posisi dari pada suplai dan tempat masukan fluida yang dihubungkan dengan posisi pompa.
- Pengaruh struktur pipa misalnya dalam penambahan yang mempengaruhi aliran.
- Jumlah dan jenis belokan dalam sistem pemipaan.
- Jumlah dan jenis katup dan sambungan dalam layout pipa.
- Kondisi masukan dan keluaran aliran fluida dalam pipa.

### 2.7.2 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh

Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*) dan diilustrasikan pada Gambar 2.6. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar tersebut, fluida umumnya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Saat fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa-slip). Hal ini berlaku baik jika fluidanya adalah udara yang relatif inviscid ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) di mana efek viskos menjadi penting timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa ( $x$ ), sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), di mana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut  $x$ .

Lapisan batas semakin tebal sehingga memenuhi pipa secara menyeluruh. Efek viskos sangat penting di dalam lapisan batas. Untuk fluida di luar lapisan batas (di dalam inti *inviscid/inviscid core* yang mengelilingi garis sumbu dari (1) ke (2), efek viskos dapat diabaikan.

Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa tergantung pada apakah aliran laminar atau turbulen, sebagaimana pula panjang daerah masuk,  $l_e$ .



Gambar 2.6 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh pada sistem pipa. (Sumber: Munson, et al., 2002)

Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, panjang masuk tak berdimensi,  $l_e/D$ , berkorelasi cukup baik dengan bilangan Reynolds. Panjang masuk pada umumnya diberikan oleh hubungan:

$$\frac{l_e}{D} = 0.06 Re \text{ untuk aliran laminar.} \dots\dots\dots (2.8)$$

dan

$$\frac{l_e}{D} = 4,4(\text{Re})^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen ..... (2.9)}$$

Untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds sangat rendah panjang masuk dapat sangat pendek ( $l_e = 0,6D$  jika  $\text{Re} = 10$ ), sementara untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar daerah masuk tersebut dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai ( $l_e = 120D$  untuk  $\text{Re} = 2000$ ). Untuk banyak masalah-masalah teknik praktis  $104 < \text{Re} < 105$  sehingga  $20D < l_e < 30D$ .

Aliran antara (2) dan (3) disebut berkembang penuh (*fully developed*). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh pada bagian (4), aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuh (5) dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai (6).

### 2.7.3 Koefisien Gesek

Perbedaan mendasar antara laminar dan turbulen adalah bahwa tegangan geser untuk aliran turbulen adalah fungsi dari kerapatan fluida,  $\rho$ . Untuk aliran laminar, tegangan geser tidak tergantung pada kerapatan, sehingga hanya viskositas,  $\mu$ , yang menjadi sifat fluida yang penting. Penurunan tekanan,  $\Delta p$ , untuk aliran turbulen tunak tak mampu didapat di dalam pipa bundar horizontal berdiameter  $D$  dapat ditulis dalam bentuk fungsional sebagai:

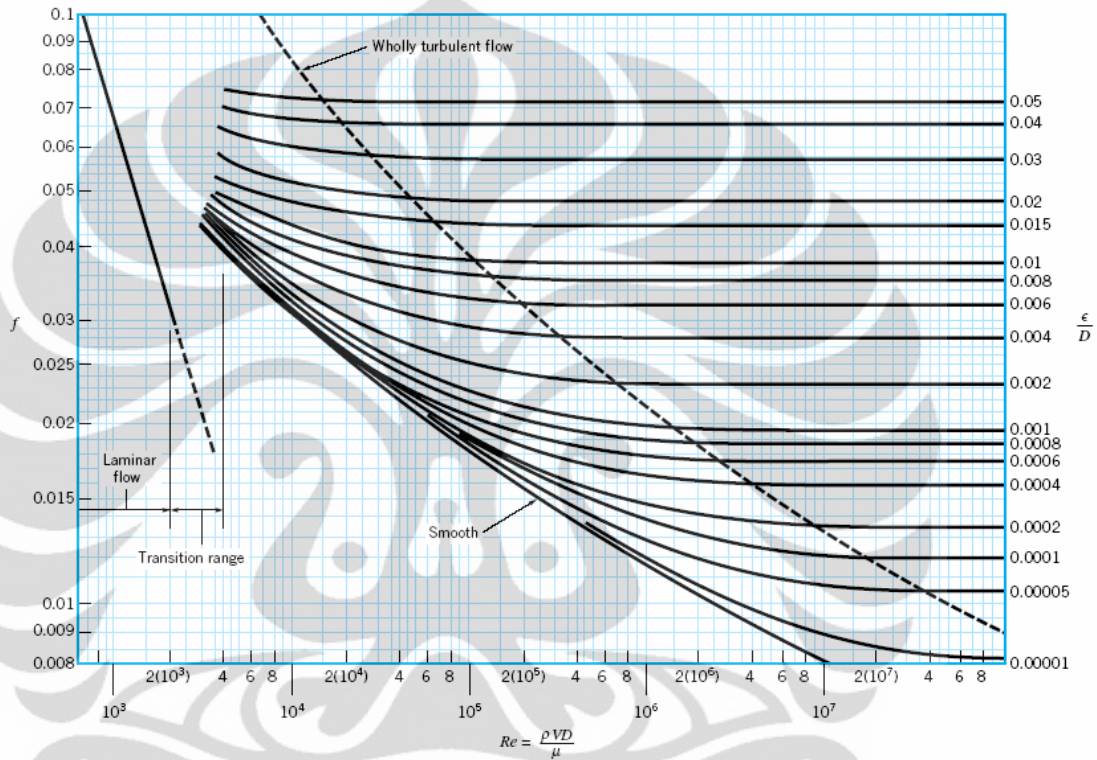
$$\Delta p = F(V, D, l, \varepsilon, \mu, \rho) \text{ .....(2.10)}$$

Kerugian tekanan ( $h_L$ ) tergantung pada diameter pipa ( $d$ ), panjang ( $l$ ), viskositas ( $\nu$ ), kecepatan aliran ( $U$ ). Analisa dimensional digunakan untuk menentukan persamaan dari parameter-parameter diatas. Persamaan yang dihasilkan disebut persamaan Darcy-Weisbach:

$$h_L = \lambda \frac{l U^2}{d 2g} \text{ ..... (2.11)}$$

di mana:  $\lambda$  = nilai koefisien gesek.

Persamaan Darcy-Weisbach merupakan rumus dasar untuk mengukur *head loss* (kerugian tekanan) yang disebabkan oleh gesekan pada pipa yang lurus, panjang dan seragam. Berdasarkan evaluasi dari percobaan dengan berbagai pipa, data-data tersebut digunakan untuk membuat diagram *Moody* (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Faktor gesek sebagai fungsi Bilangan Reynolds dan hubungan kekasaran

pada pipa bulat. Diagram Moody (Sumber: Fundamentals of Fluid mechanics – munson; Young; Okiishi)

Untuk  $Re < 2000$ , aliran pada pipa akan laminar dan  $\lambda$  hanya merupakan fungsi dari  $Re$  yaitu:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.12)$$

Pada  $Re > 4000$  aliran menjadi turbulen dan nilai  $\lambda$  merupakan fungsi dari  $Re$  dan kekasaran relatif ( $e/D$ ). Blasius, yang untuk pertama kali mengkolerasikan

eksperimen-eksperimen pipa licin dalam aliran turbulen, menyajikan hasil-hasil dengan suatu rumus empirik yang berlaku sampai kurang lebih  $Re = 100000$ . Rumus Blasius tersebut adalah:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{1/4}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Pada nilai  $Re$  yang sangat tinggi,  $\lambda$  hanya tergantung pada  $e/D$  dengan asumsi daerah tersebut sudah seluruhnya turbulen, daerah ini merupakan daerah dimana pada diagram *Moody* garis untuk  $e/D$  yang berbeda menjadi horizontal. Distribusi aliran laminar atau turbulen sangat dipengaruhi dari bilangan Reynold, viskositas, gradien tekanan dan kekasaran permukaan. Sedangkan untuk menentukan tebal lapisan batas dipengaruhi oleh panjang pipa, viskositas, kecepatan aliran dan kekasaran permukaan.

#### 2.7.4 Persamaan-persamaan Gerak untuk Fluida Viskos

Sebuah partikel fluida yang tidak menerima dua buah gaya, yaitu *body force* dan gaya tekanan (*pressure force*) pada permukaannya. Partikel fluida pada fluida viskos yang bergerak mendapat gaya permukaan tambahan, yaitu gaya-gaya tangensial atau gaya-gaya geseran dan gaya-gaya normal.

Dengan mensubstitusi persamaan untuk percepatan, tegangan geser, dan tegangan normal akan menghasilkan persamaan gerak lengkap untuk fluida viskos yang bergerak. Persamaan ini disebut persamaan Navier-Stokes. Untuk fluida dengan viskositas konstan dan aliran tak mampu mampat, persamaan itu menjadi:

Arah sumbu  $x$ :

$$\rho \left[ \frac{\partial u}{\partial t} + u \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) + v \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + w \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right),$$

Arah sumbu  $y$ :

$$\rho \left[ \frac{\partial u}{\partial t} + u \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) + v \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + w \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \dots \dots (2.14)$$

Arah sumbu z:

$$\rho \left[ \frac{\partial u}{\partial t} + u \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) + v \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + w \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right),$$

Dalam sistem koordinat polar silinder  $(r, \theta, z)$ , persamaan Navier-Stokes menjadi:

Arah sumbu r:

$$\rho \left[ \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left( \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right),$$

Arah sumbu  $\theta$ :

$$\rho \left[ \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_\theta \cdot v_r}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right] = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left( \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right),$$

Arah sumbu z:

$$\rho \left[ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right),$$

Pemecahan persamaan-persamaan Navier-Stokes tidak linear secara eksak baru tersedia untuk beberapa kasus saja. Ini terutama untuk aliran-aliran yang steady atau seragam yang berdimensi dua atau memiliki simetri radial, dan untuk aliran-aliran dengan geometri yang sangat sederhana. Persamaan-persamaan Navier-Stokes untuk aliran *steady* tak mampu mampat mempunyai empat unsur yang belum diketahui yaitu komponen-komponen kecepatan dan tekanan.

### 2.7.5 Kerugian Minor

Sebuah perbesaran mendadak adalah satu dari sedikit komponen dimana koefisien kerugian dapat diperoleh dengan sebuah analisis yang sederhana. Untuk melakukan hal ini diberikan persamaan-persamaan kontinuitas dan momentum untuk volume pengatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan persamaan energi yang diterapkan antara (2) dan (3). Diasumsikan bahwa aliran adalah seragam pada bagian (1), (2), dan (3) dan tekanan konstan di sisi kiri dari volume pengatur ( $p_a = p_b = p_c = p_l$ ). Tiga persamaan yang dihasilkan (massa, momentum dan energi) adalah:

$$A_1 V_1 = A_3 V_3$$

$$P_1 A_3 - P_3 A_3 = \rho A_3 V_3 (V_3 - V_1) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dan

$$\frac{P_1}{\lambda} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_3}{\lambda} + \frac{V_3^2}{2g} + h_L \dots \dots \dots (2.17)$$

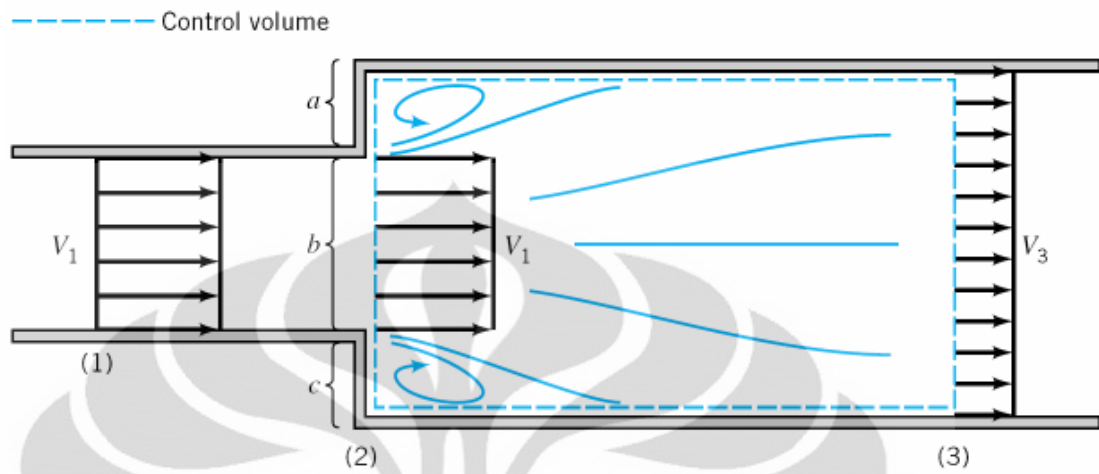
Ketiga persamaan ini dapat diatur kembali sehingga memberikan koefisien kerugian,  $KL = hL / (2.1 V^2 / 2g)$ , sebagai:

$$K_L = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \dots \dots \dots (2.18)$$

Di mana:

KL = Koefisien kerugian

$\frac{A_1}{A_2}$  = Rasio luas



Gambar 2.8 Volume pengatur yang digunakan untuk menghitung koefisien kerugian untuk perbesaran mendadak. (Sumber: Munson, et al., 2002)

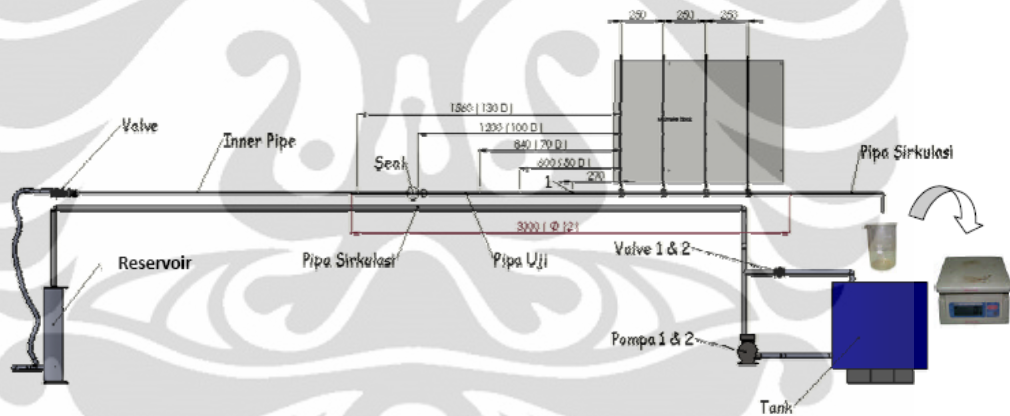


## BAB III

### PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

#### 3.1 PERANCANGAN ALAT PENGUJIAN

Desain yang digunakan pada penelitian ini berupa alat sederhana. Alat yang di desain untuk mensirkulasikan fluida dari tanki penampungan menuju pipa pengujian dengan bantuan pompa dan debit aliran diatur oleh katup pengatur aliran (*gate valve*) seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema alat pengujian

#### 3.2 PERALATAN PENGUJIAN

Pada penelitian ini peralatan yang dipergunakan untuk melakukan pengujian adalah:

1. Instalasi pengujian untuk aliran fluida (air) Instalasi sirkulasi fluida terdiri dari:

- Pipa inlet penguji yaitu pipa *acrylic* dengan diameter dalam 4 millimeter:
- pipa ½ inchi untuk sambungan dari tangki ke pompa, sambungan antara pompa, air trap dan selang,
- selang untuk menghubungkan antara air trap dari pipa penguji (*inlet pipe*),

- katup,
  - tangki penampungan fluida,
  - dua buah pompa sentrifugal,
  - katup pengatur aliran yang digunakan untuk mengatur laju aliran,
  - *elbow*,
  - *clamp* sambungan,
2. Manometer lurus dengan menggunakan alat ukur penggaris dan milimeter block untuk mengukur beda tekanan yang terjadi antara dua titik pada pipa penguji. Alat ukur yang digunakan memiliki ketelitian sebesar 1 mm.
  3. Wadah untuk menampung air (gelas ukur) pada saat pengambilan data.
  4. Timbangan digital dengan ketelitian 1 gram.
  5. *Stopwatch* untuk menunjukkan waktu pengambilan fluida yang keluar dari pipa. Alat ukur ini memiliki ketelitian sampai dengan 0,01 sekon.
  6. Tabung air trap, berfungsi untuk mengeliminir buble.

### **3.3 PROSEDUR PENGUJIAN**

#### **3.3.1 Ruang Lingkup Pengujian**

Ruang lingkup pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengukuran *head loss* dari suatu fluida cair yang berhubungan dengan head tekanan dari suatu aliran. Debit aliran fluida yang masuk ke pipa pengujian diatur oleh bukaan katup yang mempunyai kisaran dari minimum sampai maksimum. Kemudian dilanjutkan dengan pipa pengujian yang memiliki diameter dalam dan kekasaran yang berbeda.

#### **3.3.2 Lokasi Pengujian**

Lokasi pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Lantai III, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

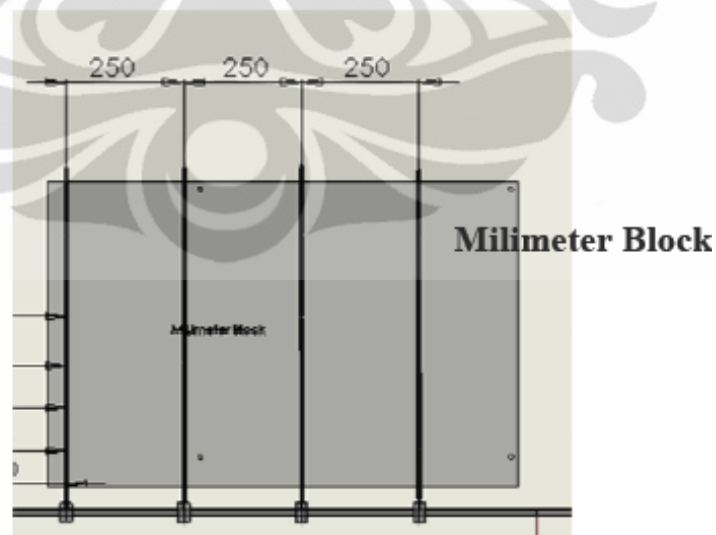
### 3.3.3 Susunan Alat

Susunan alat pengujian dapat dilihat pada skema 2 dimensi pada Gambar 3.1 dan untuk lebih jelasnya gambar susunan alat dalam bentuk 3 dimensi yaitu dengan bantuan software Solid Work 2008 dapat dilihat pada lampiran B-1.

### 3.3.4 Persiapan Pengujian

Persiapan yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah:

- Menyiapkan tempat untuk ruang pengujian, pembuatan rangka untuk alat pengujian.
- Membuat rangkaian alat pengujian dengan menggunakan 1 pipa *acrylic* sebagai pipa uji dengan dimensi ( $d = 12 \times 16$  mm), pompa, katup, selang, pipa *PVC*, dan tangki penampung sehingga membentuk suatu sistem sirkulasi dimana air bisa disirkulasikan tanpa mengalami kebocoran.
- Membuat lubang dengan diameter 2 mm sebagai *step* pada pipa penguji, total yaitu 4 lubang/*step* yang berjarak masing-masing 250 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. Penampang manometer pada pipa uji



Gambar 3.2. Penampang manometer pada pipa uji

- Pengujian terdiri dari 1 jenis pengujian yang menggunakan 3 jenis fluida yang berbeda-beda yaitu:
  1. Pengujian dengan menggunakan pipa *Acrylic* dengan diameter 4 mm dan panjang 2000 mm, dengan fluida air.
  2. Pengujian dengan menggunakan pipa *Acrylic* dengan diameter 4 mm dan panjang 2000 mm, dengan fluida air dengan konsentrasi 20% surfactant.
  3. Pengujian dengan menggunakan pipa *Acrylic* dengan diameter 6 mm, dan panjang 2000 mm, dengan fluida air dengan konsentrasi 30% surfactant
- Menghubungkan *pressure tube* yang dibuat pada pipa penguji dengan manometer lurus melalui selang manometer,

### 3.4 TAHAP PENGUJIAN

Pada tahap pengujian ini, yang dilakukan adalah mengatur dan menjaga kecepatan rata-rata aliran dan bilangan Reynolds konstan, kemudian mengambil data penurunan tekanan ( $\Delta h$ ) terhadap perubahan rasio panjang masuk ( $L/D$ ). Tahap pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan fluida (air) ke dalam tangki penampungan,
2. Menghidupkan pompa, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran,
3. Tahap pengambilan data:
  - Mengatur bukaan katup dan aliran fluida diatur pada kecepatan tertentu,
  - Aliran dibiarkan beberapa saat hingga stabil, keadaan ini terlihat pada selisih head ( $\Delta h$ ) tetap,

- Menampung fluida yang keluar dari pipa pengujian dengan gelas ukur dan mencatat waktunya, kemudian fluida yang telah ditampung diukur massanya dengan menggunakan timbangan digital.
- Setelah aliran stabil pipa inlet diatur atau digeser sesuai besarnya rasio jarak panjang ( $L/D$ ) terhadap pressure step,
- Menghitung selisih tinggi *head* yang terjadi pada manometer lurus pada posisi rasio  $L/D$  yang ditentukan,
- Mengatur kembali posisi inlet pada rasio  $L/D$  yang lebih besar kemudian menghitung selisih tinggi head,
- Pengambilan data head kerugian dilakukan berulang sesuai dengan semakin besarnya nilai rasio  $L/D$ ,
- Mengulangi pengambilan data dengan mengatur bukaan katup dari minimal sampai maksimal, dan mengambil data massa fluida yang keluar dan mencatat waktunya,
- Pengambilan data yang dilakukan dimulai dari aliran dengan bilangan Reynold kecil (laminar) sampai dengan bilangan Reynold besar (turbulen),
- Untuk pengambilan data pada pengujian kedua ini hanya dilakukan pada pipa inlet Aluminium ( $d = 4 \text{ mm}$ ).

Pengujian dilakukan berulang untuk mendapatkan hasil yang akurat dan benar, kerja alat penguji selalu dicek agar sirkulasi aliran tetap stabil dan penyimpangan tidak terjadi lagi.

Temperatur fluida dijaga konstan pada suhu ruang ( $\pm 27,5^\circ\text{C}$ ). Pengujian dilakukan dengan melihat perbedaan tekanan pada masing-masing manometer pada tiap-tiap perubahan jarak dari pipa inlet.

Alat uji merupakan jenis pipa *Acrylic* dengan diameter dalam ( $D$ ) 12 mm, panjang ( $L$ ) 3000 mm. Panjang "*entry length*" cukup untuk menjaga aliran berkembang penuh (*fully developed*) untuk aliran laminar *fully developed flow* pada 130  $D$  sedangkan untuk turbulen pada 30  $D$ . Fluida mengalir dari tabung penampung

masuk ke pompa dan didistribusikan melalui selang dan pipa tubing (*inlet*) dengan diameter dalam ( $d$ ) yang bervariasi.

Laju aliran diukur dengan mengumpulkan debit yang keluar dari pipa dalam periode waktu tertentu. Debit aliran fluida diatur dengan pengaturan *gate valve* untuk mengatur nilai bilangan Reynolds.

### 3.5 PERALATAN PENGUJIAN

#### 3.5.1 Rangka Uji

Rangka uji digunakan sebagai penopang semua peralatan dan komponen alat uji. Rangka uji terbuat dari besi profil siku.



**Gambar 3.3 Rangka alat uji**

#### 3.5.2 Pompa Sentrifugal

Pompa disini berfungsi untuk meningkatkan energi mekanik fluida atau sebagai penghisap dan pendorong aliran fluida yang akan dialirkan melalui pipa uji, sehingga terjadi sirkulasi fluida uji di sepanjang penampang pipa instalasi.

Spesifikasi pompa sentrifugal yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

Pompa I & II

- Jenis pompa : Sentrifugal

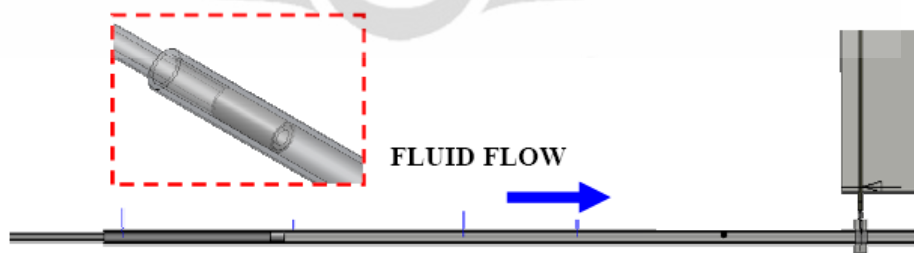
- Daya pompa : 125 Watt
- Kapasitas pompa maksimum : 42 L/menit
- Head total : 37 Meter
- Putaran motor : 2850 rpm



Gambar 3.4 Pompa sentrifugal

### 3.5.3 Pipa Masuk (*Inlet Pipe*)

Pengujian ini dilakukan dengan pipa *Acrylic* dengan ukuran diameter (8x4) mm



Gambar 3.5. Penampang pipa uji dan pipa inlet

### 3.5.4 Manometer

Manometer digunakan sebagai alat ukur ketinggian dengan cara mengukur

beda ketinggian pada pipa pengujian, manometer dibuat dari selang elastis transparan dengan diameter dalam sebesar 4 mm dan dipasang dengan melubangi pipa. Manometer dibuat sebanyak 4 lubang dengan jarak masing-masing 250 mm dan dilekatkan pada pipa uji yang telah dilubangi dengan ukuran 2 mm.

### **3.6 PERALATAN PENDUKUNG**

Setelah peralatan selesai dibuat, maka baru bisa dilakukan pengujian. Pada pengujian diperlukan juga peralatan pendukung untuk mengukur variabel kecepatan aliran, volume aliran, dan temperatur yaitu antara lain:

#### **3.6.1 Gelas Ukur**

Gelas digunakan untuk mengetahui volume atau massa fluida dalam waktu tertentu, yang nilainya digunakan untuk mengetahui debit fluida yang mengalir dari keluaran pipa uji.



Gambar 3.6. Gelas ukur

#### **3.6.2 Stopwatch**

*Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan untuk mengisi gelas ukur dengan periode waktu tertentu.





Gambar 3.7. *Stopwatch*

### 3.6.3 Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur fluida yang mengalir selama pengujian. Hal ini diperlukan karena temperatur sangat berpengaruh terhadap viskositas fluida.

### 3.6.4 Timbangan Digital

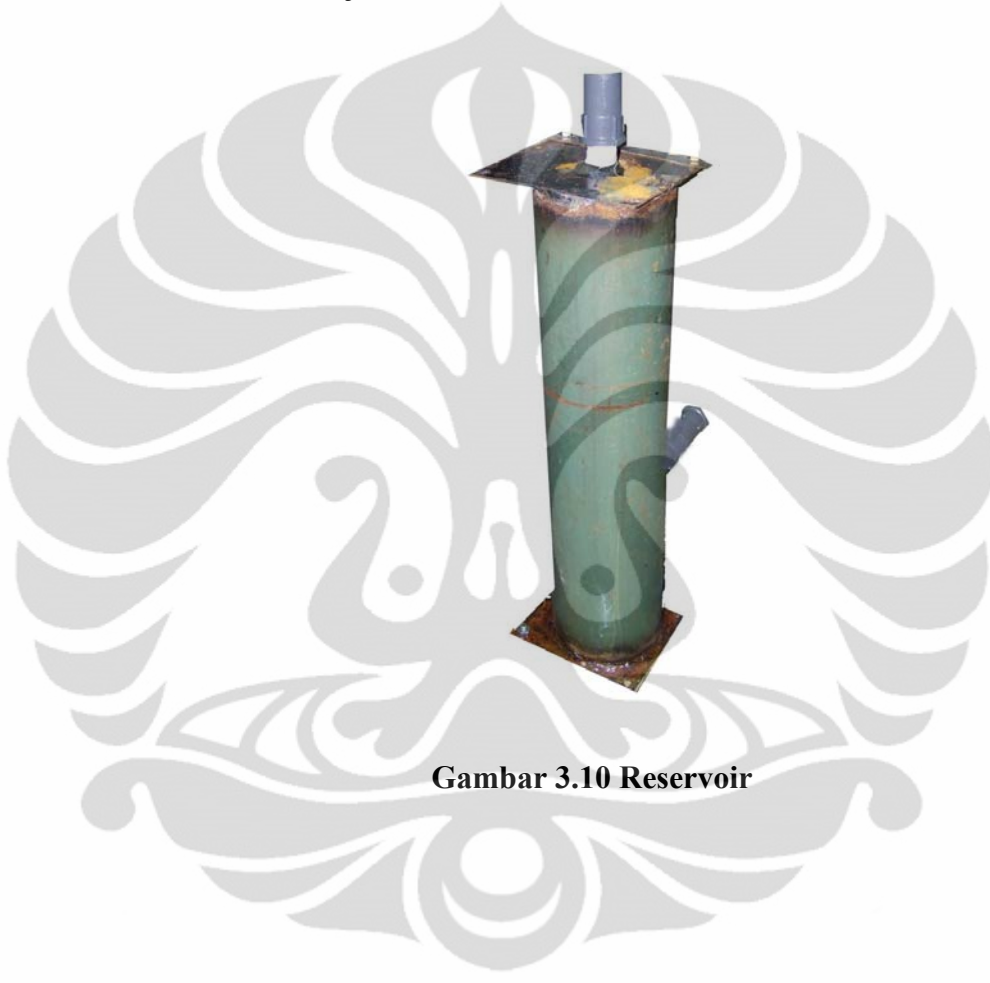
Timbangan yang digunakan untuk penelitian ini adalah timbangan elektronik AND SK-5001 dengan beban maksimum 5 kg dengan ketelitian 1 gram. Timbangan berfungsi untuk mengukur massa fluida selama waktu tertentu untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida.



Gambar 3.9 Timbangan digital

### 3.6.5 Reservoir

Tabung ini digunakan untuk mengurangi fluktuasi tekanan dari pompa dan mengurangi gelembung udara yang sangat berpengaruh terhadap akurasi dari manometer lurus alat uji.



**Gambar 3.10 Reservoir**

## BAB IV

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

#### 4.1 PERHITUNGAN DATA

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa temperatur kerja fluida pada saat pengujian, perbedaan head tekanan, dan waktu yang diperlukan untuk menampung fluida pada volume tertentu. Data temperatur kerja fluida pada saat pengujian digunakan untuk menentukan sifat-sifat dari fluida, yaitu antara lain nilai massa jenis fluida ( $\rho$ ) dan viskositas kinematik ( $\nu$ ) yang digunakan bersama dengan data massa fluida yang ditampung selama waktu tertentu untuk mencari kecepatan fluida dan Reynolds number. Sedangkan data perbedaan head tekanan digunakan untuk mencari nilai dimana  $L/D$  pada saat fluida berkembang penuh. Perubahan tekanan dan panjang inlet dari setiap aliran yang diambil datanya diplot dalam Grafik.

Adapun asumsi yang digunakan untuk memperoleh data dan mempermudah perhitungannya antara lain:

- Fluida yang dipakai incompressible,
- Aliran Steady dan berkembang penuh,
- Tidak ada gelembung udara yang terjebak dalam pipa manometer,
- Tidak terdapat kebocoran pada sistem sirkulasi terutama pada instalasi pengujian,
- Perubahan tekanan udara luar diabaikan.

#### 4.2 PENGUJIAN

##### 4.2.1. Contoh Perhitungan pada Pengujian dengan Fluida air murni

Pada pengujian ini aliran fluida diatur pada kecepatan tertentu, kecepatan aliran pada sistem dijaga konstan saat pengambilan data, bilangan Reynolds dan kecepatan rata-rata aliran dijadikan sebagai parameter tetap (konstan). Pengambilan

data dilakukan dengan menggeser pipa masuk (*inlet*) dari jarak terdekat dari step pressure ( $L/D$  terkecil), hingga jarak tertentu untuk mendapatkan  $L/D$  pada kondisi dimana aliran sudah berkembang penuh (*fully developed flow*). Jadi pada pengujian ini yang dilakukan adalah menentukan saat dimana aliran sudah berkembang penuh, hal ini terjadi apabila degradasi tekanan ( $\Delta p$ ) pada manometer akan tetap, tidak berubah meskipun jarak geser ( $L/D$ ) diperbesar.

Adapun persamaan yang digunakan pada pengujian ini yaitu:

1. Menentukan kecepatan rata-rata aliran ( $U$ ):

$$U = \frac{4m}{\rho \cdot t \cdot \pi \cdot d^2} \text{ (m/s)}$$

Massa ( $m$ ) dan waktu ( $t$ ) diambil saat fluida mengalir keluar dari sistem, keluaran fluida tersebut ditampung dan mencatat waktunya kemudian ditimbang dengan timbangan digital.

2. Menghitung bilangan Reynolds ( $Re$ ):

$$Re = \frac{dU}{\nu}$$

Viskositas kinematik ( $\nu$ ) didapat sesuai dengan kondisi fluida air pada temperatur konstan (27,5 oC).

#### 4.2.1 Contoh perhitungan data hasil pengujian untuk fluida air

Dari salah satu data hasil pengujian pada pipa inlet aluminium dengan diameter dalam 4 mm diperoleh data-data sebagai berikut:

Massa	: 0,495 kg
Waktu aliran ( $t$ )	: 10,56 s
Diameter ( $d$ )	: 0.012 m
Viskositas kinematik ( $\nu$ )	: $8,46 \times 10^{-7}$ m <sup>2</sup> /s
Pressure drop ( $\Delta h$ )	: 12,5 mm

Temperatur fluida ( $T$ )	: 27,5 °C
Density ( $\rho$ )	: 996,45 kg/m <sup>3</sup>

Menghitung kecepatan rata-rata dan bilangan Reynolds:

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran fluida,  $U$

$$U = \frac{4m}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4(0.495)}{(996.45) \cdot (10.54) \cdot (3.14) \cdot (0.012)^2} = 0.416943(m/s)$$

2. Menghitung bilangan Reynolds,  $Re$

$$Re = \frac{dU}{\nu} = \frac{(0.012) \cdot (0.416943)}{(8.46 \times 10^{-7})} = 5914.088$$

Pada bilangan Reynolds konstan didapat beberapa data penurunan tekanan ( $\Delta h$ ) dan rasio jarak  $L/D$  seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Aliran fluida adalah Turbulen dengan dua data bilangan Reynolds ( $Re= 5914$ ;  $Re = 5448$ )

#### 4.2.2 Hasil Pengolahan Data

##### 4.2.2.1 Pengolahan data untuk fluida air

Tabel 4.1 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi dimana aliran mulai berkembang penuh.

No	Re 4026		Re 9066	
	$\Delta P$	L/D	$\Delta P$	L/D
1	221	10	574	10
2	203	15	543	15
3	159	20	474	20
4	158	25	421	25
5	158	30	420	30
6	157	35	421	35
7	157	40	420	40

Tabel diatas menunjukkan nilai jatuh tekanan pada variasi panjang hidrodinamik (L/D). Pada peneliti aliran yang diteliti adalah aliran turbulenta. Pada Reynolds number sekitar 4026, nilai pressure drop ulai konstan pada nilai L/D sekitar 20. Artinya bahwa mulai L/D 20, air pada builangan Reynolds 4026 mengalami aliran berkembang penuh. Namun, pada nilai bilangan Reynolds yang semakin tinggi yaitu pada 9066, nilai L/D untuk mencapai aliran berkembang penuh mengalami peningkatan yaitu sekitar 25 L/D.

#### 4.2.2.2 Pengolahan data untuk aliran fluida dengan 100 ppm biopolimer

Tabel 4.2 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi dimana aliran mulai berkembang penuh.

No	Re 4335		Re 10206	
	$\Delta P$	L/D	$\Delta P$	L/D
1	215	10	553	10
2	197	15	529	15
3	184	18	496	18
4	172	20	463	20
5	149	22	451	22
6	150	25	413	25
7	148	27	393	28
8	150	30	394	30
9	149	35	393	35
10	149	40	393	40

Tabel diatas menunjukkan nilai jatuh tekanan pada variasi panjang hidrodinamik (L/D). Pada peneliti aliran yang diteliti adalah aliran turbulenta. Fluida yang digunakan yaitu 100 ppm larutan biopoimer. Pada Reynolds number sekitar 4335,

nilai pressure drop mulai konstan pada nilai L/D sekitar 22. Artinya bahwa mulai L/D 22, larutan tersebut pada bilangan Reynolds 4335 mengalami aliran berkembang penuh. Namun, pada nilai bilangan Reynolds yang semakin tinggi yaitu pada 10206, nilai L/D untuk mencapai aliran berkembang penuh mengalami peningkatan yaitu sekitar 28 L/D.

#### 4.2.2.3 Pengolahan data untuk aliran fluida 250 ppm biopolimer

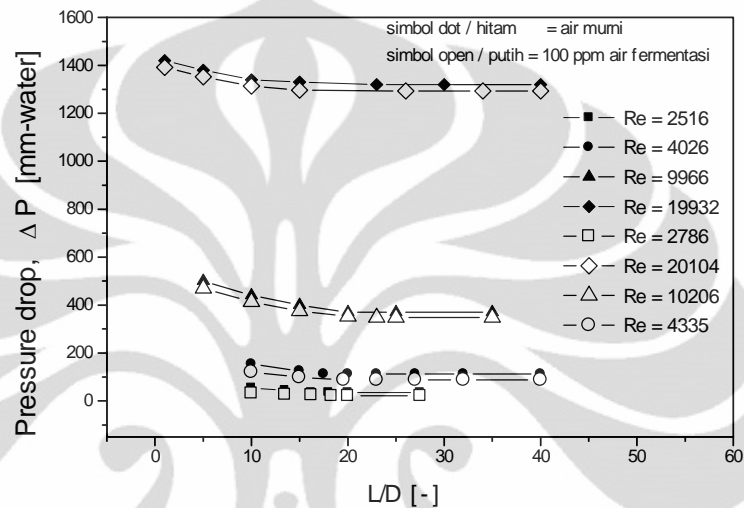
Tabel 4.3 Tabel data pengujian untuk mencari kondisi dimana aliran mulai berkembang penuh.

No	Re 4628		Re 10301	
	$\Delta P$	L/D	$\Delta P$	L/D
1	211	10	529	10
2	192	15	502	15
3	173	18	476	18
4	162	20	441	20
5	131	22	411	22
6	130	25	383	25
7	131	27	362	28
8	131	30	361	30
9	131	35	361	35
10	131	40	361	40

Tabel diatas menunjukkan nilai jatuh tekanan pada variasi panjang hidrodinamik (L/D). Pada peneliti aliran yang diteliti adalah aliran turbulenta. Fluida yang digunakan yaitu 250 ppm larutan biopolimer. Pada Reynolds number sekitar 4628, nilai pressure drop mulai konstan pada nilai L/D sekitar 22. Artinya bahwa mulai L/D 22, larutan tersebut pada bilangan Reynolds 4628 mengalami aliran

berkembang penuh. Namun, pada nilai bilangan Reynolds yang semakin tinggi yaitu pada 10301, nilai  $L/D$  untuk mencapai aliran berkembang penuh mengalami peningkatan yaitu sekitar 28  $L/D$ .

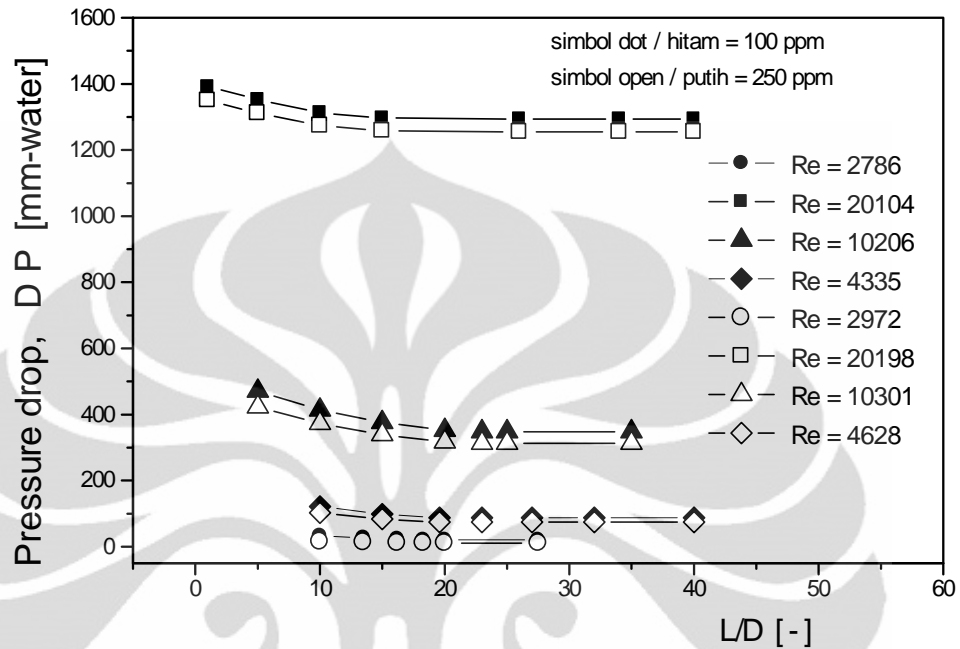
### 4.2.3 Analisa Hasil



Gambar 4.1 Hubungan Hubungan pressure drop terhadap  $L/D$  untuk air dan 100 ppm biopolimer.

Gambar 4.1 menunjukkan hidrodinamik panjang aliran masuk pada variasi bilangan Reynolds konstan pada aliran turbulen. Nilai kerugian tekanan,  $dP/dL$  atau  $\Delta P$  akan menurun secara linear bila kenaikan rasio  $L/D$  pada setiap kecepatan konstan ( $Re = \text{konstan}$ ). Pada aliran turbulen pengaruh penambahan biopolimer sebesar 100 ppm berpengaruh terhadap pressure drop yang terjadi maupun terhadap hidrodinamik panjang aliran. Penambahan biopolimer dapat mengurangi pressure drop yang terjadi. Disamping itu, penambahan biopolimer juga berpengaruh terhadap hidrodinamik panjang aliran. Hidrodinamik panjang aliran yang dibutuhkan akan semakin besar. Kemungkinan akan terjadi drag reduction pada aliran turbulen, mengingat pada aliran turbulen terjadi penurunan nilai pressure drop.





Gambar 4.2 Hubungan Hubungan pressure drop terhadap L/D untuk air dan 250 ppm biopolimer.

Gambar di atas memperlihatkan pengaruh konsentrasi biopolimer tape ketan terhadap pressure drop maupun hidrodinamik panjang aliran. Tampak semakin besar konsentrasi biopolimer yang digunakan, semakin besar pula penurunan pressure drop yang terjadi. Namun, konsentrasi biopolimer tidak berpengaruh terhadap hidrodinamik panjang aliran yang terjadi. Keadaan ini hanya berlaku untuk aliran turbulen.

# **BAB V**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil pengolahan data dapat diambil suatu kesimpulan bahwa :

1. Panjang minimum hidrodinamik aliran masuk untuk aliran laminar berkembang penuh pada setiap bilangan Reynolds dapat diketahui melalui pendekatan hubungan rasio panjang masuk terhadap besarnya bilangan Reynolds. Semakin tinggi kecepatan aliran fluida atau makin besar nilai bilangan Reynolds maka jarak minimum hidrodinamik aliran masuk semakin besar.
2. Panjang hidrodinamik aliran masuk untuk fluida mulai berkembang penuh pada fluida dengan campuran surfactant lebih besar, hal ini disebabkan oleh viscositas yang dimiliki oleh surfactant adalah apparent viscosity yang membutuhkan jarak lebih besar untuk fluida mulai berkembang penuh.
3. Persamaan Darcy Weisbach turunan dari persamaan Navier-Stokes hanya dapat digunakan bila aliran sudah berkembang penuh (*fully developed flow*).

### **5.2 SARAN**

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

1. Data-data yang di ambil pada saat pengujian akan lebih akurat apabila menggunakan peralatan kalibrasi (manometer) yang lebih sensitif atau presisi.
2. 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.

3. 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**

Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., *Mekanika Fluida, terj.* Dr. Ir. Harinaldi, Ir. Budiarmo, M.Eng. (Jakarta: Erlangga, 2003)

Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, *Mekanika Fluida, terj.* Arko Prijono  
(Jakarta: Erlangga, 1988)

Frank M. White, *Mekanika Fluida, terj.* Ir. Mahana Hariandja (Jakarta: Erlangga, 1994)

Fox, Robert W, Mcdonald, Alan T, Introduction to Fluid Mechanics 4th Edition  
(USA: John Wiley & Sons, Inc, 1994)

Menon, E. Shashi, "Piping Calculation Manual" (New York: McGraw-Hill, 2005)

Karim, Farhanul. "Efek Penambahan Partikel Nano Terhadap Koefisien Gesek pipa pada RE 20000 - 200." Skripsi, Dept. Teknik Mesin Fakultas Teknik UI, Depok, 2004.

## Lampiran

Tabel Percobaan untuk Renolds Number 4026 dan 9066 fluida air

No	Re 4026		Re 9066	
	$\Delta P$	L/D	$\Delta P$	L/D
1	221	10	574	10
2	203	15	543	15
3	159	20	474	20
4	158	25	421	25
5	158	30	420	30
6	157	35	421	35
7	157	40	420	40

Tabel Percobaan untuk Renolds Number 4335 dan 10206 pada 100 ppm biopolimer

No	Re 4335		Re 10206	
	$\Delta P$	L/D	$\Delta P$	L/D
1	215	10	553	10
2	197	15	529	15
3	184	18	496	18
4	172	20	463	20
5	149	22	451	22
6	150	25	413	25
7	148	27	393	28
8	150	30	394	30
9	149	35	393	35
10	149	40	393	40

Tabel Percobaan untuk Renolds Number 4335 dan 10206 pada 100 ppm biopolimer

No	Re 4628		Re 10301	
	$\Delta P$	L/D	$\Delta P$	L/D
1	211	10	529	10
2	192	15	502	15
3	173	18	476	18
4	162	20	441	20
5	131	22	411	22
6	130	25	383	25
7	131	27	362	28
8	131	30	361	30
9	131	35	361	35
10	131	40	361	40