



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN *PRESSURE DROP* DENGAN
MENGUNAKAN SERAT BAMBU PADA TANGKI AIR
BALLAST KAPAL**

SKRIPSI

**SANLARUSKA FATHERNAS
0806338443**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN *PRESSURE DROP* DENGAN
MENGUNAKAN SERAT BAMBU PADA TANGKI AIR
BALLAST KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SANLARUSKA FATHERNAS
0806338443**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Sanlaruska Fathernas

NPM : 0806338443

Tanda Tangan :



Tanggal : 16 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Sanlaruska Fathernas
NPM : 0806338443
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Pengurangan Pressure Drop dengan menggunakan Serat Bambu pada Tangki Air Ballast

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

DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Ir. Marcus Alberth Talahatu, MT

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc.

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo

Penguji : Ir. Mukti Wibowo

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 03 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Rasa syukur yang dalam saya sampaikan bagi Allah SWT yang telah memberikan nikmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan, Departemen 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, dalam kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak, yaitu:

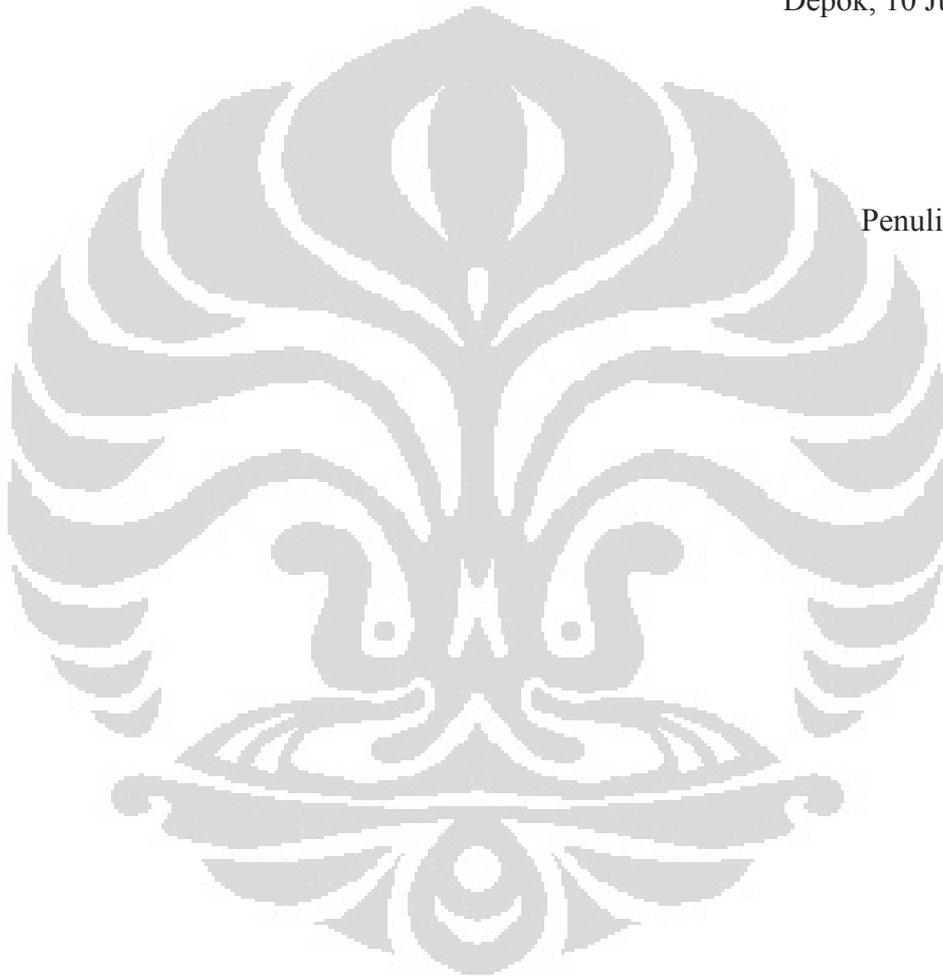
1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M. Eng. M. Sc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Gunawan, S. T., M. T., selaku asisten dosen pembimbing yang telah banyak memberi solusi, saran, dan arahan untuk menyempurnakan skripsi ini.
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
4. Putri Hilma Afifah Angelia, sebagai pemberi saran dan semangat, teman berbagi cerita, teman berbagi suka dan duka, dan bagian dari perjalanan hidup saya. Tiada kata yang dapat menggantikan semua hal yang telah diberikan.
5. M. Primadya Putra, selaku rekan satu judul skripsi yang berjuang bersama, berbagi pengetahuan, memberi saran, dan berbagi waktu dan tenaga menyusun skripsi ini.
6. Adi Lingson Simanungkalit dan Dwi Laksono, selaku rekan yang telah memberikan bantuan yang sangat berharga dalam pengujian dan pengambilan data.
7. Agus Julianto dan Indah Puspitasari, selaku rekan yang telah memberikan saran dan berbagi ilmu dalam menganalisis data-data yang telah didapat.

8. Teman-teman seperjuangan, Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Indonesia terutama angkatan 2008, yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 10 Juni 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Sanlaruska Fathernas

NPM : 0806338443

Program Studi : Teknik Perkapalan

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:

**PENGURANGAN *PRESSURE DROP* DENGAN MENGGUNAKAN SERAT
BAMBU PADA TANGKI AIR BALLAST KAPAL**

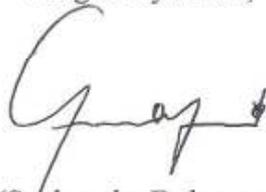
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Sanlaruska Fathernas)

ABSTRAK

Nama : Sanlaruska Fathernas
Program Studi: Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Pengurangan Pressure Drop dengan Menggunakan Serat Bambu pada Tangki Air Ballast Kapal

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

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan yang terjadi pada aliran fluida dengan penambahan serat bambu. Dari pengujian ini didapatkan data perbedaan ketinggian manometer (Δh), waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu, dan massa dari fluida. Spesifikasi dari alat pengujian yang diperlukan juga didapatkan untuk diolah menggunakan persamaan-persamaan empiris sehingga didapatkan hasil pengolahan. Tampilan grafik hasil pengolahan akan dibandingkan dengan grafik secara teoritis. Grafik yang ditampilkan merupakan hubungan antara Bilangan Reynolds dengan beda tekanan dan bilangan Reynolds dengan koefisien gesek.

Kata kunci:

pressure drop, koefisien gesek, pipa bulat, serat bambu, *Reynold number*

ABSTRACT

Name : Sanlaruska Fathernas
Program Study : Naval Architecture
Script Title : Reducing Pressure Drop use Bamboo Fibres in Water Ballast Tank

Pressure drop has a relevancy with the coefficient of friction and it's significant case of the system of fluid rate in the pipeline cause it's related with energy consumption. Pure water is one of plain fluids used on pressure drop research. Water is Newtonian fluid which its viscosity depends on temperature change only. This research done in order to understand the pressure drop use bamboo fibres. From the research obtains difference of water height (Δh), time required to reach particular volume, and mass of fluids. Specification of the equipment required is also getting to processing that uses empirical equations, so it will get the processing result. Processing result graphic will be compared with the theoretical graphic. The graphic being appeared is relation between Reynolds number with difference of pressure and Reynolds number with coefficient of the friction.

Keywords:

pressure drop, coefficient of friction, circular pipe, Reynold number

DAFTAR ISI

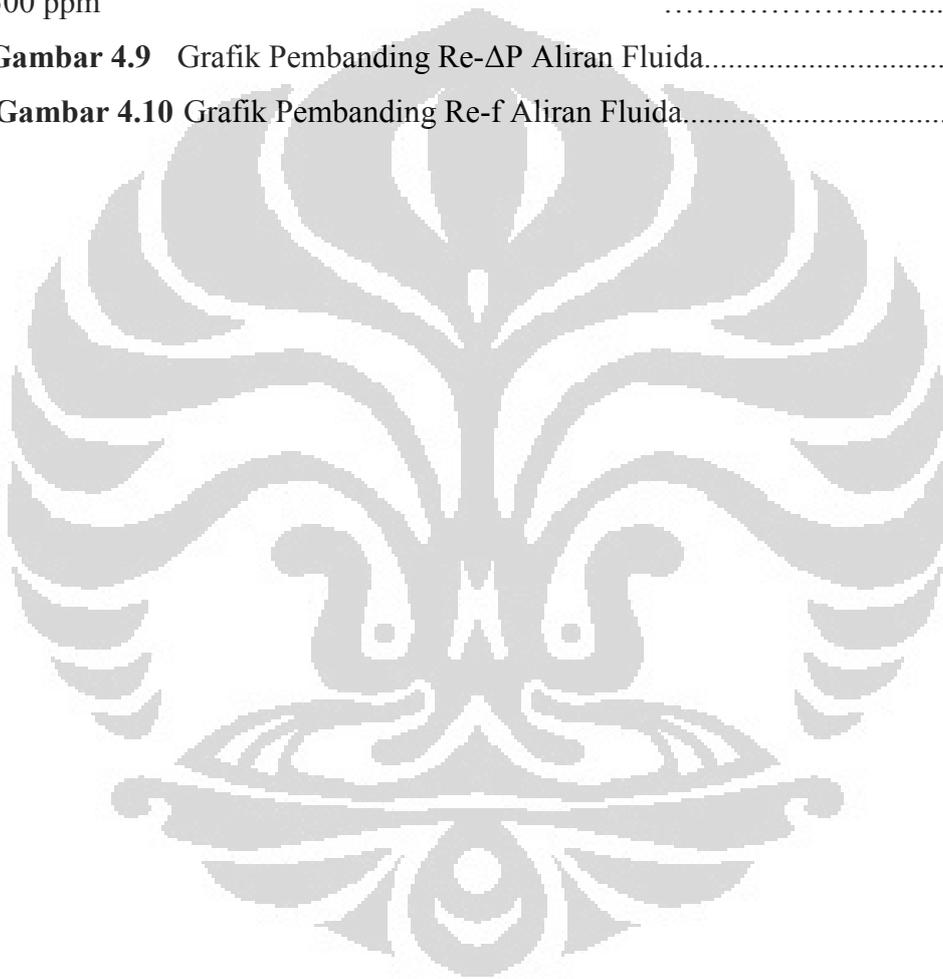
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Metode Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Definisi Fluida.....	5
2.2 Tipe dan Karakteristik Aliran Fluida.....	5
2.2.1 Karakteristik Aliran Fluida.....	6
2.2.2 Tipe Aliran Fluida.....	8
2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Aliran Fluida.....	9
2.3 Klasifikasi Fluida.....	10
2.3.1 Fluida <i>Newtonian</i>	10
2.3.2 Fluida <i>Non-Newtonian</i>	11
2.4 Sifat-Sifat Dasar Fluida.....	14
2.4.1 Kerapatan (<i>Density</i>).....	14
2.4.2 Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>).....	15
2.4.3 Tekanan (<i>Pressure</i>).....	15
2.4.4 Kekentalan (<i>Viscosity</i>).....	17
2.5 Bilangan Reynolds.....	19
2.6 Aliran Laminar dan Turbulen.....	20
2.7 Analisis Dimensional Aliran Pipa.....	21
2.7.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Aliran dalam Pipa.....	21
2.7.2 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh.....	22
2.7.3 Koefisien Gesek.....	24
2.8 Serat.....	26
2.8.1 Serat Alami.....	26
2.8.2 Tanaman Bambu.....	26

BAB 3 DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....	29
3.1 Rancangan Alat Uji.....	29
3.2 Prosedur Pengambilan Sampel.....	33
3.3 Metode Penelitian.....	34
3.3.1 Unit Pengujian.....	34
3.3.2 Kondisi dalam Pengujian.....	35
3.3.3 Prosedur Pengambilan Data.....	35
3.3.4 Tahapan Pengujian.....	35
3.3.5 Metode Pengolahan Data.....	36
3.4 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	38
 BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....	 40
4.1 Perhitungan Data.....	40
4.1.1 Perhitungan Kerapatan Fluida dan Perbedaan Tekanan....	40
4.1.2 Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida.....	42
4.1.3 Perhitungan Friksi dan Bilangan Reynolds.....	45
4.1.3.1 Air Murni.....	45
4.1.3.2 Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm.....	48
4.1.3.3 Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm.....	51
4.1.3.4 Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm.....	54
4.2 Analisis Data.....	57
 BAB 5 PENUTUP.....	 58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran.....	58
 DAFTAR PUSTAKA.....	 59
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagan Klasifikasi Aliran Fluida	6
Gambar 2.2	<i>Steady Uniform Flow</i>	7
Gambar 2.3	<i>Steady-Non Uniform Flow</i>	7
Gambar 2.4	Hubungan antara <i>Shear Stress-Shear Rate</i> pada Fluida <i>Non-Newtonian</i>	11
Gambar 2.5	Distribusi Kecepatan Fluida Bingham Plastic pada Pipa.....	12
Gambar 2.6	Hubungan <i>Shear Stress-Shear Rate</i> pada <i>Thixotropic</i> (a) dan <i>Rheopectic</i> (b) yang Tergantung pada Waktu.....	13
Gambar 2.7	Kondisi Tekanan pada Fluida	16
Gambar 2.8	Penentuan Kekentalan	18
Gambar 2.9	Eksperimen Ilustrasi Jenis Aliran	21
Gambar 2.10	(a) (b) Perilaku Aliran dalam Pipa dari Aliran sedang Berkembang hingga Aliran Berkembang Penuh	23
Gambar 2.11	Diagram Moody	25
Gambar 3.1	Instalasi Alat Uji Pipa Bulat	29
Gambar 3.2	Pompa Sentrifugal	30
Gambar 3.3	Tangki Air	31
Gambar 3.4	<i>Valve</i> dengan Busur Derajat	31
Gambar 3.5	Manometer	32
Gambar 3.6	Gelas Ukur	32
Gambar 3.7	<i>Stopwatch</i>	33
Gambar 3.8	Timbangan Digital	33
Gambar 3.9	Serat Bambu 2 mm	34
Gambar 4.1	Grafik $Re-f$ Air Murni	47
Gambar 4.2	Grafik $Re-\Delta P$ Air Murni	47
Gambar 4.3	Grafik $Re-f$ Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm	50
Gambar 4.4	Grafik $Re-\Delta P$ Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm	50

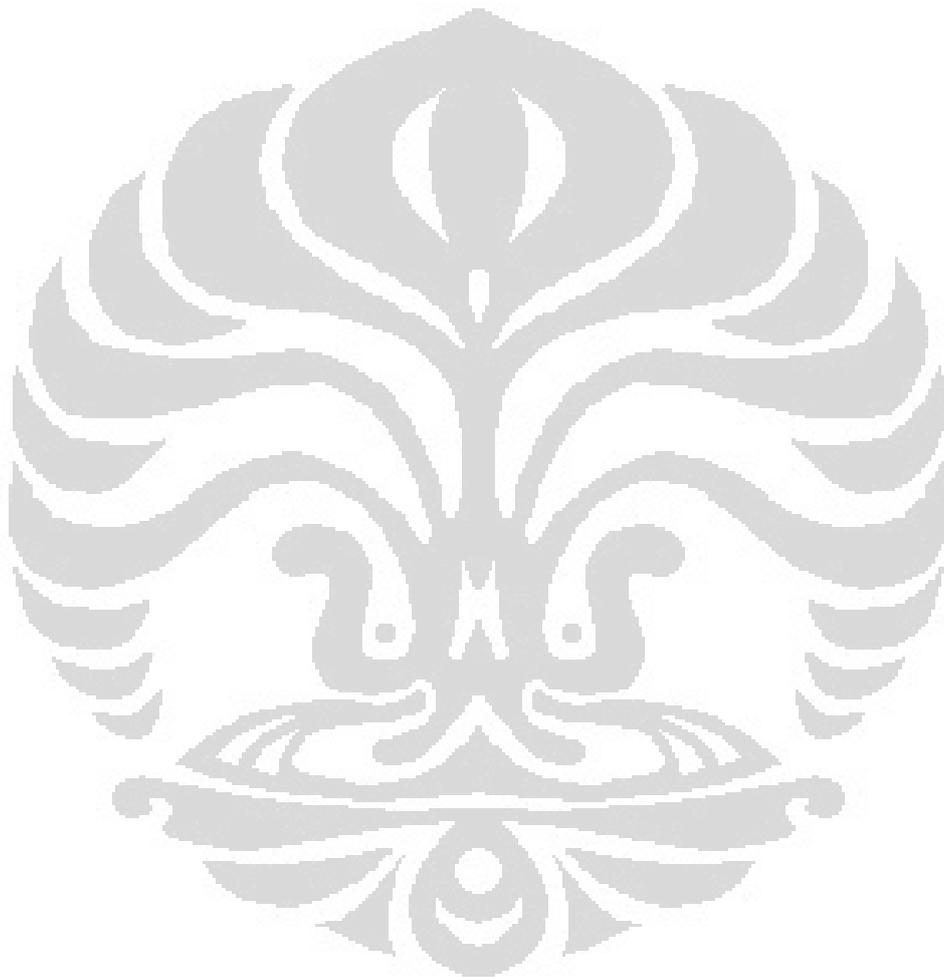
Gambar 4.5	Grafik Re-f Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm53
Gambar 4.6	Grafik Re- ΔP Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm53
Gambar 4.7	Grafik Re-f Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm56
Gambar 4.8	Grafik Re- ΔP Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm56
Gambar 4.9	Grafik Pembeding Re- ΔP Aliran Fluida.....	57
Gambar 4.10	Grafik Pembeding Re-f Aliran Fluida.....	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berbagai Kerapatan (Density) Bahan	15
Tabel 2.2 Koefisien Kekentalan untuk Berbagai Fluida.....	19
Tabel 4.1 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni.....	41
Tabel 4.2 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm	41
Tabel 4.3 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm	41
Tabel 4.4 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm	41
Tabel 4.5 Perbedaan Tekanan Aliran Fluida	42
Tabel 4.6 Debit Aliran Fluida Air Murni	43
Tabel 4.7 Debit Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm	43
Tabel 4.8 Debit Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm	43
Tabel 4.9 Debit Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm	44
Tabel 4.10 Kecepatan Aliran Fluida	45
Tabel 4.11 Friksi Aliran Fluida Air Murni	46
Tabel 4.12 Bilangan Reynolds Air Murni	46
Tabel 4.13 Friksi Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm	48
Tabel 4.14 Bilangan Reynolds Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm	49
Tabel 4.15 Friksi Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm	51
Tabel 4.16 Bilangan Reynolds Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm	52

Tabel 4.17 Friksi Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm54
Tabel 4.18 Bilangan Reynolds Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm55



DAFTAR NOTASI

Ketinggian manometer	= h	(mm)
Perbedaan ketinggian mamometer	= Δh	(mm)
Perbedaan tekanan	= ΔP	(Pa)
Waktu	= t	(s)
Volume fluida	= V	(ml)
Kecepatan aliran fluida	= u	(m/s)
Diameter pipa	= D_{in}	(mm)
Luas permukaan aliran	= A	(m ²)
Debit fluida	= Q	(m ³ /s)
Kecepatan gravitasi	= g	(m/s ²)
Panjang antar manometer	= ℓ	(m)
Massa jenis	= ρ	(kg m ⁻³)
Friksi	= f	
Bilangan Reynolds	= Re	

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tantangan dunia akan pemanasan global, perubahan iklim, dan penghematan pemakaian energi sangat penting untuk terus diteliti oleh para ilmuwan dunia. Metode baru diciptakan dan metode lama terus dikembangkan. Penghematan energi merupakan cara paling ekonomis dalam menghadapi kekurangan energi dan merupakan cara yang paling ramah lingkungan dibandingkan dengan peningkatan produktivitas energi.

Salah satu teknik untuk melakukan penghematan energi di dalam aliran pipa adalah dengan mengurangi jatuh tekan aliran (*pressure drop*). Ilmu mekanika fluida sangat berperan penting dalam mengetahui karakteristik fluida saat mengalir. Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi. Kerugian energi ketika terjadi perpindahan fluida disebut kerugian jatuh tekanan. Kerugian jatuh tekanan dapat direduksi dengan pengurangan hambatan dalam aliran.

Fluida yang bekerja dalam sistem perpipaan membutuhkan energi yang sesuai dengan kapasitas aliran yang dibutuhkan. Pemakaian energi yang diperlukan itu dapat dihemat meskipun kapasitas yang sudah ditentukan tidak berkurang. Penghematan itu didapat bila nilai kerugian jatuh tekanan pada fluida yang diberi perlakuan khusus nilainya lebih kecil dari fluida standarnya sehingga dinamakan pengurangan hambatan.

Pengurangan nilai koefisien gesek dengan menggunakan aditif seperti serat, telah diteliti lebih dari 50 hingga 60 tahun yang lalu. Penelitian tersebut menjadi dasar dari berbagai penelitian lain terutama mengenai pengurangan koefisien gesek dengan menggunakan aditif alternatif.

Ada dua alasan yang menjadikan penambahan aditif lebih diutamakan (Gyr & Bewersdorff, 1995):

1. Di beberapa kasus lebih mudah untuk melakukan perubahan aliran dengan menambahkan aditif daripada melakukan perubahan pada media aliran dan potensi dari penambahan aditif ini sangat terlihat jelas.
2. Penambahan aditif berpengaruh langsung pada turbulensi aliran karena setiap perubahan drastis dari aliran terjadi berdasarkan dari proses dasar unsur tersebut.

Dalam penelitian ini, zat aditif yang dipilih adalah serat bambu. Pemilihan serat bambu sebagai media penelitian didasarkan pada jurnal ilmiah yang memperlihatkan pengaruh serat asbestos sebagai *agent drag reduction* (Moyle & Sabersky, 1978). Dengan menggantikan serat asbestos dengan serat alami (serat bambu) diharapkan dapat mengurangi efek negatif aditif terhadap lingkungan.

Aplikasi dari penambahan aditif untuk mengurangi jatuh tekanan aliran dapat diterapkan pada beberapa aliran pipa kapal. Salah satu penggunaannya dapat diterapkan pada sistem tangki ballast kapal dimana energi yang dibutuhkan untuk perpindahan sistem ballast dari satu tangki ke tangki lain dapat dihemat dengan penambahan aditif ini.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui terjadinya pengurangan jatuh tekanan (*pressure drop*) pada pipa bulat lurus dengan penambahan aditif serat bambu.
2. Mengetahui friksi yang terjadi pada aliran dalam pipa.
3. Membandingkan friksi yang terjadi pada aliran dalam pipa dengan teori yang sudah ada berdasarkan Bilangan Reynoldnya.

1.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan penelitian secara langsung di laboratorium. Penelitian meliputi pengujian langsung dan tidak langsung. Pengujian langsung adalah pengujian untuk mendapatkan variabel yang dapat diketahui dengan cara mengukur nilainya berupa perbedaan ketinggian manometer, waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu, dan massa dari fluida. Sedangkan pengujian tidak langsung adalah mendapatkan variabel dengan cara mengolahnya melalui berbagai formula yang ada sehingga didapatkan

hasil dari variabel yang digunakan pada pengujian langsung seperti kerapatan fluida, perbedaan tekanan pada manometer, debit aliran, kecepatan aliran, nilai friksi, dan Bilangan Reynolds.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan aliran (*pressure drop*) dan friksi yang terjadi terhadap nilai Bilangan Reynolds yang muncul pada pipa lurus dengan fluida air murni yang telah ditambahkan aditif serat bambu dengan kandungan 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm.

1.5 Metodologi Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, penulis melakukan beberapa metode yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing.

Tujuan daripada konsultasi dengan dosen pembimbing untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

2. Membuat alat uji di laboratorium.

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

3. Pengumpulan data.

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

4. Pengolahan data.

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

5. Analisis data.

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis terjadinya kerugian jatuh tekanan dan friksi yang terjadi pada alat uji, sehingga diharapkan dengan penambahan aditif serat bambu pada air murni dapat menghemat pemakaian energi tanpa melakukan pengurangan daya pompa yang digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini meliputi beberapa bab yaitu:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini, serta sistematika penulisan.

BAB 2 : LANDASAN TEORI

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

BAB 3 : RANCANGAN ALAT UJI

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

BAB 4 : PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

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

BAB 5 : PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

BAB 2 **LANDASAN TEORI**

2.1 Definisi Fluida

Fluida adalah zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadah tempatnya 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 kedalam cairan atau gas. Perbedaan-perbedaan utama antara cairan dan gas adalah:

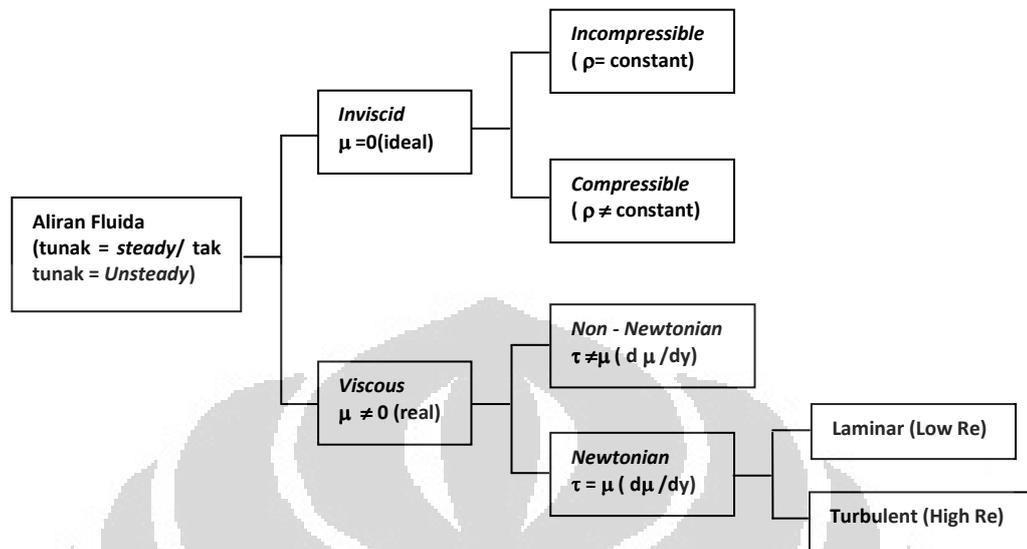
1. Cairan merupakan fluida tidak kompresibel, sedangkan gas merupakan fluida kompresibel.
2. Cairan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang hingga mengisi seluruh bagian wadahnya.

Fluida memiliki sifat tidak menolak terhadap perubahan bentuk dan kemampuan untuk mengalir (umumnya kemampuannya untuk mengambil bentuk dari wadah). 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.

2.2 Tipe dan Karakteristik Aliran Fluida

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida. Contohnya yaitu aliran dapat digolongkan sebagai aliran *steady* atau *unsteady*, satu, dua, atau tiga dimensi, seragam atau tidak seragam, laminar atau turbulen, dan dapat mampat atau tidak dapat mampat. Selain itu, aliran gas terdiri dari subsonik,

transonik, dan supersonik atau hipersonik. Sedangkan zat cair yang mengalir di saluran terbuka terdiri dari sub kritis, kritis, dan super kritis.



Gambar 2.1 Bagan Klasifikasi Aliran Fluida

2.2.1 Karakteristik Aliran Fluida

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

1. Aliran tunak (*steady flow*) adalah kecepatan aliran fluida yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sehingga kecepatan konstan pada setiap titik.

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

2. Aliran seragam (*uniform flow*) adalah kecepatan aliran fluida yang terjadi apabila besar dan arah dari titik kecepatan tidak berubah dari titik ke titik dalam fluida.

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

3. *Non steady flow* adalah kecepatan aliran fluida yang terjadi apabila terdapat suatu perubahan kecepatan terhadap perubahan waktu (terjadi percepatan).

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

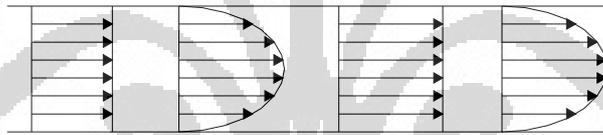
4. *Non uniform flow* adalah kecepatan dan percepatan aliran fluida penampang yang berubah sepanjang lintasan.

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

Dari keempat tipe aliran tersebut dapat terjadi 4 jenis kemungkinan aliran. sebagai berikut:

1. *Steady uniform flow.*

Aliran tidak berubah terhadap letak dan waktu kecepatan dan potongan bidang aliran disetiap kondisi pipa akan sama. Kemungkinan aliran ini terjadi pada kecepatan aliran dalam pipa yang mempunyai diameter yang *uniform*.



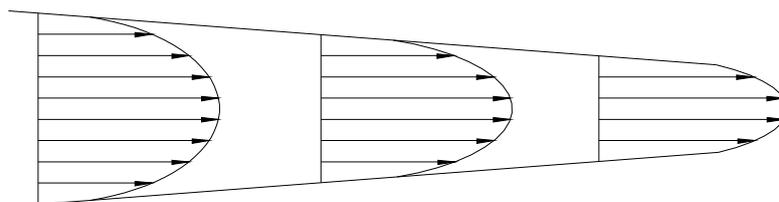
$$\frac{\partial u}{\partial s} = 0$$

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

Gambar 2.2 *Steady Uniform Flow*

2. *Steady-non uniform flow.*

Aliran akan berubah terhadap letaknya akan tetapi tidak bervariasi terhadap waktu. Kecepatan dan potongan bidang dari alirannya akan berubah dari satu potongan ke potongan lain, tetapi setiap potongan tidak akan bervariasi terhadap waktu.



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

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

Gambar 2.3 *Steady-Non Uniform Flow*3. *Non steady uniform flow.*

Pada kecepatan di setiap titik akan sama tetapi kecepatan akan bervariasi terhadap perubahan waktu. Kemungkinan aliran ini terjadi ketika aliran mengalir melalui pipa yang berdiameter konstan pada saat pompa mulai dihidupkan.

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

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

4. *Non steady non uniform flow.*

Potongan bidang aliran dan kecepatannya berubah dari titik ke titik, juga berubah dari waktu ke waktu. Kemungkinan aliran ini terjadi ketika aliran bergelombang yang mengalir melalui suatu saluran.

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

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

5. *Compressible flow* adalah aliran fluida yang terjadi pada keadaan kerapatan (ρ) berubah-ubah.6. *Incompressible flow* adalah aliran fluida yang terjadi pada keadaan kerapatan (ρ) konstan sepanjang lintasan.

2.2.2 Tipe Aliran Fluida

Aliran fluida dapat dibedakan dalam beberapa tipe yaitu:

1. *One dimensional flow.*

Aliran fluida yang terjadi saat parameter aliran fluida tersebut mempunyai gradien dalam satu arah yang sama dengan arah aliran (sumbu x).

2. *Two dimensional flow.*

Aliran fluida yang terjadi saat parameter aliran fluida tersebut mempunyai gradien dalam 2 arah yaitu arah aliran (sumbu x) dan arah tegak lurus (sumbu y).

3. *Three dimensional flow.*

Aliran fluida yang terjadi saat parameter aliran fluida tersebut mempunyai gradien dalam 3 arah, arah aliran sumbu x , y , dan z .

4. *Laminar flow.*

Aliran fluida yang tidak terjadi pencampuran partikel antar lapisan.

5. *Turbulent flow.*

Aliran fluida yang terjadi pencampuran partikel antar lapisan.

6. *Subsonic flow.*

Kecepatan aliran fluida yang terjadi lebih kecil dari kecepatan suara.

7. *Transonic flow.*

Kecepatan aliran fluida yang terjadi sama dengan kecepatan suara.

8. *Personic flow.*

Kecepatan aliran fluida yang terjadi lebih besar dari kecepatan suara.

9. *Hypersonic flow.*

Kecepatan aliran fluida yang terjadi jauh lebih besar dari kecepatan suara.

10. *Subcritical flow.*

Aliran fluida yang terjadi lebih kecil dari permukaan gelombang elementer.

11. *Critical flow.*

Aliran fluida yang terjadi sama dengan permukaan gelombang elementer.

12. *Super critical flow.*

Aliran fluida yang terjadi lebih besar dari permukaan gelombang elementer.

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Aliran Fluida

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi aliran fluida yaitu:

1. Laju Aliran Volume.

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

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

V = volume aliran fluida (m³)

Q = debit aliran fluida (m²/s)

t = waktu aliran fluida (s)

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot u \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

u = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang pipa (m)

Q = debit aliran fluida (m³/s)

2. Kecepatan Aliran Fluida.

Kecepatan aliran fluida didefinisikan sebagai besarnya debit aliran yang mengalir persatuan luas.

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

Keterangan:

u = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang pipa (m)

Q = debit aliran fluida (m³/s)

2.3 Klasifikasi Fluida

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

2.3.1. Fluida *Newtonian*

Fluida *Newtonian* adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva *Shear-Stress* dan gradien kecepatan yang linier. Contoh dari fluida jenis ini adalah air, udara, *ethanol*, *benzene*, dll. Fluida *Newtonian* akan terus mengalir dan viskositas fluidanya tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperatur. Pada dasarnya fluida *Newtonian* adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dengan persamaan:

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

Keterangan:

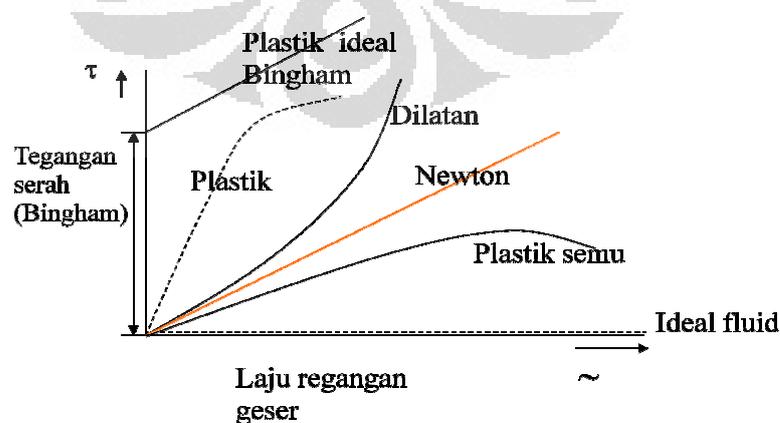
τ = tegangan geser pada aliran fluida

μ = viskositas dinamik fluida

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

2.3.2. Fluida *Non-Newtonian*

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



Gambar 2.4 Hubungan antara *Shear Stress-Shear Rate* pada Fluida *Non-Newtonian*

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

1. *Bingham plastic*.

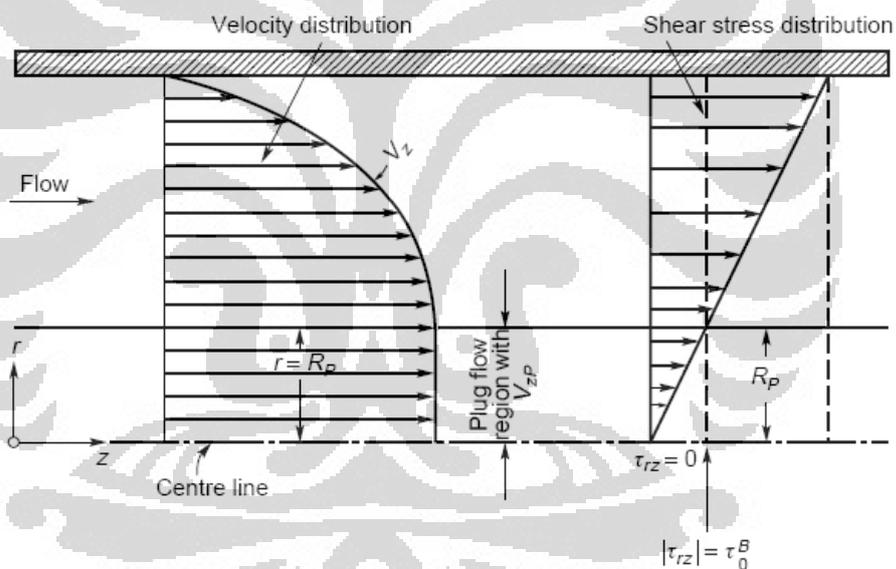
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dengan viskositas yang sangat bergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut:

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

Keterangan:

$\tau < \tau_y$ = zat padat

$\tau > \tau_y$ = fluida *Newtonian*



Gambar 2.5 Distribusi Kecepatan Fluida *Bingham Plastic* pada Pipa

2. *Pseudoplastic* (plastik semu).

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

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

3. *Dilatant*.

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

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

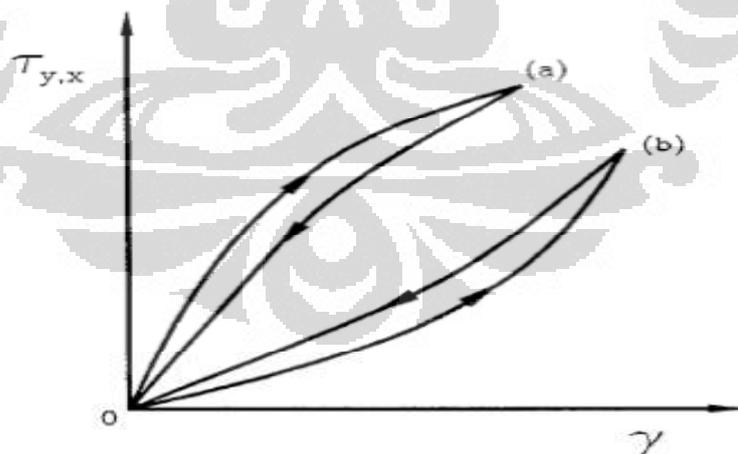
4. Penggolongan lain.

- *Thixotropic (shear thinning)*.

Fluida dengan viskositas berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viskositas akan menurun. Contoh dari fluida jenis ini adalah cat, campuran tanah liat (*clay*), dan berbagai jenis gel.

- *Rheopectic (shear thickening)*.

Fluida dengan viskositas berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin besar. Contoh dari fluida jenis ini adalah minyak pelumas saat mengalami guncangan.



Gambar 2.6 Hubungan *Shear Stress-Shear Rate* pada *Thixotropic* (a) dan *Rheopectic* (b) yang Tergantung pada Waktu

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

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

Keterangan:

K = indeks konsistensi

τ = tegangan geser pada aliran fluida

n = indeks perilaku aliran (*power law index*)

$\frac{\partial u}{\partial y} = \gamma$ = laju aliran fluida

Nilai tegangan geser (*shear stress*) dapat diketahui melalui persamaan:

$$\tau = \frac{\Delta P \cdot d}{4l} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$= \frac{8u}{d} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.4. Sifat-Sifat Dasar Fluida

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

2.4.1. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan atau *density* dinyatakan dengan ρ (ρ adalah huruf kecil Yunani yang dibaca “rho”). Kerapatan didefinisikan sebagai massa per satuan volume. Berikut persamaan dari kerapatan:

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

Keterangan:

ρ = kerapatan (kg/m^3)

m = massa benda (kg)

V = volume (m^3)

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Satuan SI

Universitas Indonesia

untuk kerapatan adalah kg/m^3 . Berbagai kerapatan bahan ditunjukkan pada tabel 2.1. Dalam tabel 2.1 tersebut ditetapkan suhu dan tekanan karena besaran ini akan dipengaruhi kerapatan bahan (meskipun pengaruhnya kecil untuk zat cair).

Tabel 2.1 Berbagai Kerapatan (*Density*) Bahan

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

Kerapatan ditetapkan pada suhu 0°C dan tekanan 1 atm, kecuali ditentukan lain

2.4.2. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

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

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

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

Keterangan:

ρ_c = massa jenis cairan (kg/m^3)

ρ_w = massa jenis air (kg/m^3)

ρ_g = massa jenis gas (kg/m^3)

ρ_a = massa jenis udara (kg/m^3)

2.4.3. Tekanan (*Pressure*)

Universitas Indonesia

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A . Satuan tekanan dalam SI adalah N/m^2 . Satuan ini mempunyai nama resmi Pascal (Pa), untuk penghormatan terhadap Blaise Pascal dipakai $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Namun untuk penyederhanaan, sering menggunakan N/m^2 . Satuan lain yang digunakan adalah dyne/cm^2 , lb/in^2 , (kadang disingkat dengan “psi”), dan kg/cm^2 (apabila kilogram adalah gaya : yaitu, $1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ N/cm}^2$). Berikut persamaan dari tekanan:

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

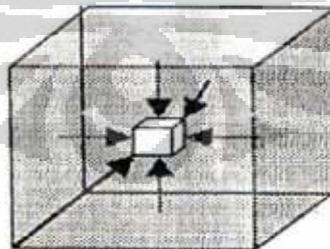
Keterangan:

P = tekanan (kg/m^2)

F = gaya (kg)

A = luas permukaan (m^2)

Konsep tekanan sangat berguna terutama dalam berurusan dengan fluida. Sebuah fakta eksperimental menunjukkan bahwa fluida menggunakan tekanan ke semua arah. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Ini diilustrasikan dalam gambar 2.7. Bayangan fluida dalam sebuah kubus kecil sehingga gaya gravitasi yang bekerja dapat diabaikan. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya netto yang bekerja pada kubus ini tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini akan bergerak hingga tekanan yang bekerja menjadi sama.



Gambar 2.7 Kondisi Tekanan pada Fluida

Tekanan dalam cairan yang mempunyai kerapatan seragam akan bervariasi terhadap kedalaman. Tekanan yang disebabkan oleh cairan pada kedalaman ini disebabkan oleh berat kolom cairan di atasnya. Dengan demikian gaya yang bekerja pada luasan tersebut dapat diilustrasikan pada persamaan berikut:

Universitas Indonesia

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

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

Keterangan:

Ah = volume kolom

ρ = kerapatan cairan (diasumsikan konstan)

g = percepatan gravitasi

P = tekanan yang bekerja pada bidang

Dengan demikian, tekanan berbanding lurus dengan kerapatan cairan dan kedalaman cairan tersebut. Secara umum, tekanan akan sama pada kedalaman yang sama dalam cairan yang seragam. Persamaan 2.16, berlaku untuk fluida yang kerapatannya konstan dan tidak berubah terhadap kedalaman jika fluida tersebut tak dapat dimampatkan (*incompressible*). Teori ini biasanya merupakan pendekatan yang baik untuk fluida (meskipun pada kedalaman yang sangat dalam didalam lautan, kerapatan air naik terutama akibat pemampatan yang disebabkan oleh berat air dalam jumlah besar di atasnya).

Gas dapat dimampatkan (*compressible*) dan kerapatannya dapat bervariasi cukup besar terhadap perubahan kedalaman. Jika kerapatannya hanya bervariasi sangat kecil, persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan ΔP pada ketinggian yang berbeda:

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

Keterangan:

ΔP = perbedaan tekanan (mmHg)

ρ = kerapatan rata-rata (kg/m^3)

g = kecepatan gravitasi (m/s^2)

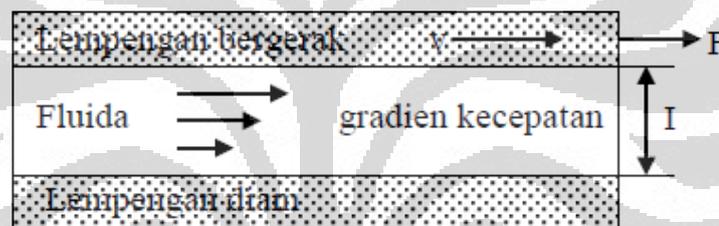
Δh = pertambahan kedalaman (m)

2.4.4. Kekentalan (*Viscosity*)

Kekentalan (*viscosity*) didefinisikan sebagai gesekan internal atau gesekan fluida terhadap wadah fluida itu mengalir. Kekentalan fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan (η). Secara garis besar,

kekentalan terjadi pada gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan ketika bergerak melintasi satu sama lain atau gesekan antara fluida dengan wadah fluida tersebut mengalir. Kekentalan terdapat dalam cairan atau gas. Kekentalan pada cairan disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-molekulnya. Kekentalan pada gas berasal dari tumbukan di antara molekul-molekul tersebut.

Fluida diletakkan diantara dua lempengan datar. Salah satu lempengan diam dan yang lain dibuat bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing-masing lempengan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat di antara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Oleh karena itu, permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju (v) yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan dengan lempengan diam bertahan. Kecepatan bervariasi secara linear dari 0 hingga v seperti ditunjukkan gambar 2.8.



Gambar 2.8 Penentuan Kekentalan

Kenaikan kecepatan dibagi oleh jarak dengan perubahan ini sama dengan gradien kecepatan (v/I). Pergerakan lempengan diatas memerlukan gaya yang dapat dibuktikan dengan menggerakkan lempengan datar melewati genangan fluida. Fluida tertentu memiliki persamaan gaya sebagai berikut:

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

Fluida yang kental sendiri memerlukan gaya yang lebih besar. Tetapan kesebandingan untuk persamaan ini ditunjukkan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Fl}{Au} \text{ [Pa. s]} \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan:

F = gaya (kg/m^2)

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

- u = kecepatan fluida (m/detik²)
 l = jarak lempengan (m)
 η = koefisien kekentalan (Pa.s)

Satuan SI untuk η adalah N.s/m². Dalam sistem cgs, satuan ini adalah dyne.s/cm² dan satuan ini disebut poise (P). Kekentalan sering dinyatakan dalam centipoises (cP), yaitu 1/100 poise. Tabel 2.2 menunjukkan daftar koefisien kekentalan untuk berbagai fluida. Suhu juga harus ditentukan karena mempunyai efek yang berpengaruh dalam menyatakan kekentalan cairan. Contoh dari kekentalan cairan adalah minyak motor. Minyak motor ini akan menurun dengan cepat terhadap kenaikan suhu.

Tabel 2.2 Koefisien Kekentalan untuk Berbagai Fluida

Fluida	Suhu	Koefisien kekentalan η (Pa.s)
Air	0	$1,8 \times 10^{-3}$
	20	$1,0 \times 10^{-3}$
	100	$0,3 \times 10^{-3}$
Darah seluruh tubuh	37	4×10^{-3}
Plasma darah	37	$1,5 \times 10^{-3}$
Alkohol ethyl	20	$1,2 \times 10^{-3}$
Mesin – mesin (SAE 10)	30	200×10^{-3}
Gliserin	20	1500×10^{-3}
Udara	20	$0,018 \times 10^{-3}$
Hidrogen	0	$0,009 \times 10^{-3}$
Uap air	100	$0,013 \times 10^{-3}$

1 Pa.s = 10 P = 1000 cP

2.5 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds dalam mekanika fluida adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen. Nama bilangan ini diambil dari Osborne Reynolds (1842-1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883. Berikut persamaan Bilangan Reynolds:

Universitas Indonesia

$$Re = \frac{\rho u D_{in}}{\mu} = \frac{u D_{in}}{\nu} = \frac{4Q}{\pi \mu D_{in}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

u = kecepatan rata-rata (m/s)

D_{in} = diameter dalam pipa (m)

ν = viskositas kinematik fluida (m²/s)

ρ = densitas massa fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

Q = debit aliran fluida (m³/s)

Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang berfungsi untuk menentukan bentuk aliran apakah aliran fluida tersebut merupakan fluida laminar atau turbulen dan posisi relatif aliran fluida tersebut pada skala. Osborne Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepataannya diturunkan sedemikian sehingga Bilangan Reynolds lebih kecil dari 2000. Aliran fluida pada instalasi pipa biasa akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah Bilangan Reynolds dari 2000 sampai 4000. Bilangan Reynolds yang besar menunjukkan aliran yang sangat turbulen dengan kerugian yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Kerugian dalam aliran laminar berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata.

2.6 Aliran Laminar dan Turbulen

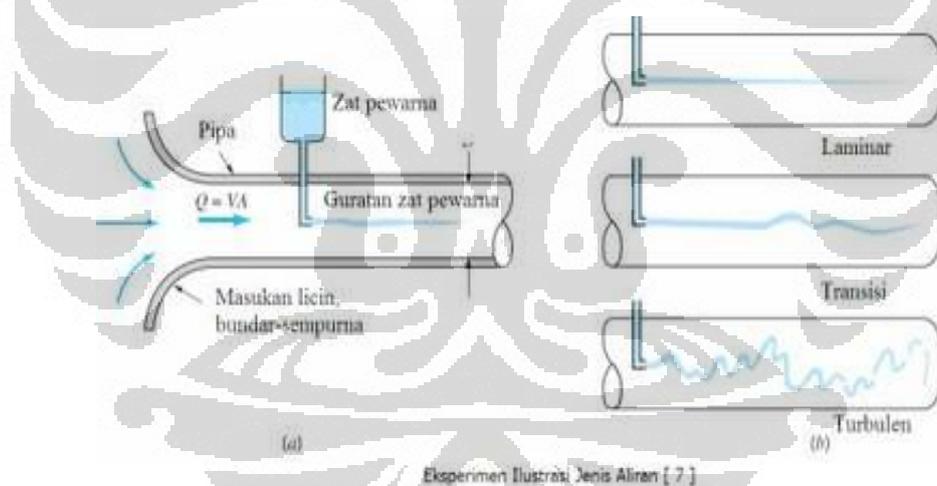
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam oleh gaya-gaya 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 pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat

Universitas Indonesia

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 kecepatan yang kecil dengan frekuensi yang tinggi. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds.

Ketika aliran melewati awal ujung pipa, distribusi kecepatan didalam pipa mempunyai bentuk yang tidak teratur yang disebut aliran sedang berkembang. Kondisi ini akan semakin berubah seiring bertambahnya panjang dari inlet. Distribusi kecepatan yang terjadi masing mengalami perubahan bentuk kontur. Setelah aliran mengalami *fully developed flow* atau berkembang penuh, maka distribusi kecepatan akan seragam untuk jarak dari inlet yang semakin panjang. Untuk aliran laminar, panjang hidrodinamik untuk mencapai keadaan *fully developed flow* kurang lebih 120 kali diameter dalam pipa.



Gambar 2.9 Eksperimen Ilustrasi Jenis Aliran

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:

1. Viskositas, densitas, dan kecepatan aliran fluida.
2. Perubahan temperatur fluida yang mengubah viskositas dan densitas fluida.

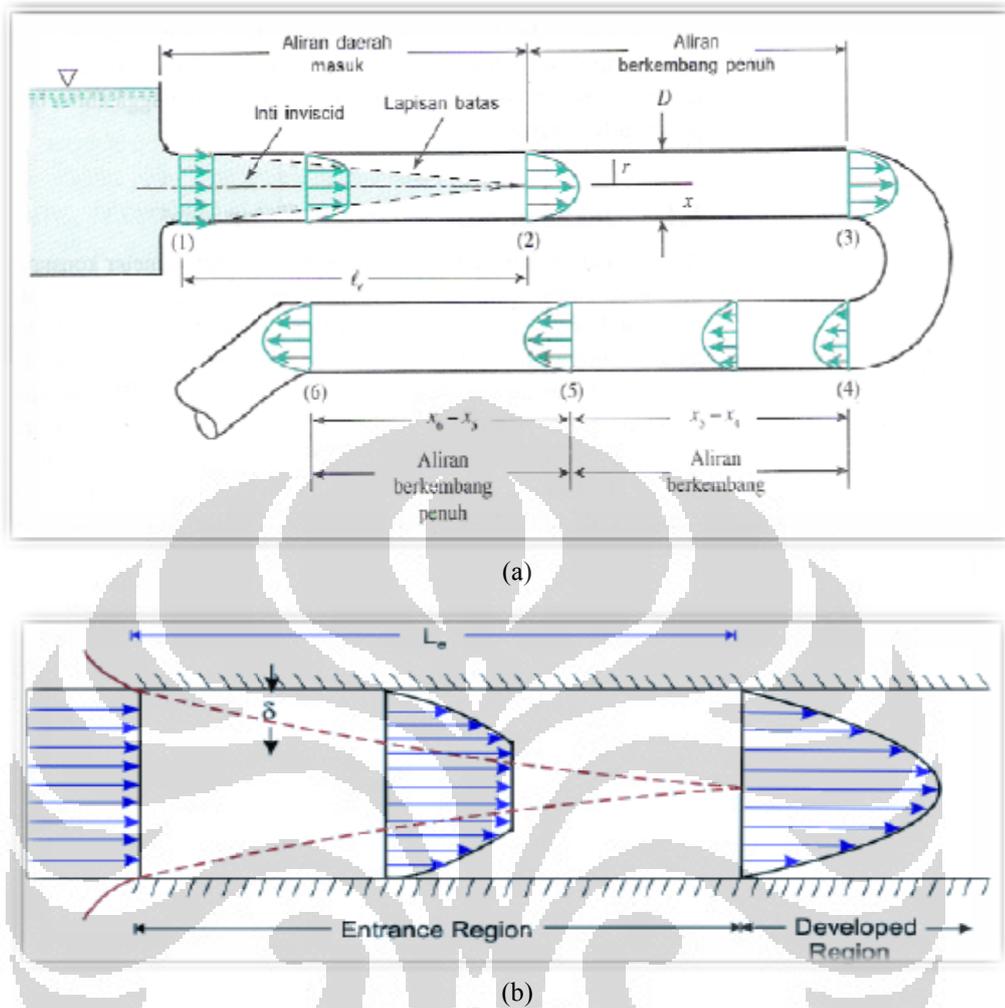
Universitas Indonesia

3. Panjang, diameter dalam, pengaruh aliran turbulen, dan kekasaran permukaan pipa.
4. Posisi tempat masukan fluida yang dihubungkan dengan posisi pompa.
5. Pengaruh struktur pipa yang mempengaruhi aliran.
6. Jumlah dan jenis belokan dalam pemipaan.
7. Jumlah, jenis katup, dan sambungan dalam *layout* pipa.
8. Kondisi masukan dan keluaran aliran fluida dalam pipa.

2.7.2. Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh

Daerah aliran fluida di dalam pipa diilustrasikan pada gambar 2.10.(a) dan (b). 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*) timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk (bagian 2) dimana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut sepanjang pipa.

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



Gambar 2.10 Perilaku Aliran dalam Pipa dari Aliran sedang Berkembang hingga Aliran Berkembang Penuh

Bentuk dari profil kecepatan di dalam pipa tergantung pada jenis alirannya, aliran laminar atau turbulen, sebagaimana pula panjang daerah masuk. Seperti pada banyak sifat lainnya dari aliran pipa, panjang masuk tak berdimensi, l_e/D , berkorelasi dengan Bilangan Reynolds. Panjang masuk pada umumnya diberikan oleh hubungan:

$$\frac{l_e}{D_{in}} = 0,06 Re \text{ untuk aliran laminar} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\frac{l_e}{D_{in}} = 4,4(Re)^{1/6} \text{ untuk aliran turbulen} \dots\dots\dots(2.22)$$

Panjang masuk aliran-aliran dengan Bilangan Reynolds yang sangat rendah dapat sangat pendek (l_e sebesar $0,6D_{in}$ jika Re sebesar 10), sementara daerah

masuk untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai (le sebesar $120D_{in}$ untuk Re sebesar 2000).

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

2.7.3. Friksi

Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah tegangan geser untuk aliran turbulen adalah fungsi fluida dan tegangan geser untuk aliran laminar tidak tergantung pada kerapatan sehingga hanya viskositas dinamik aliran (μ) menjadi sifat fluida yang penting.

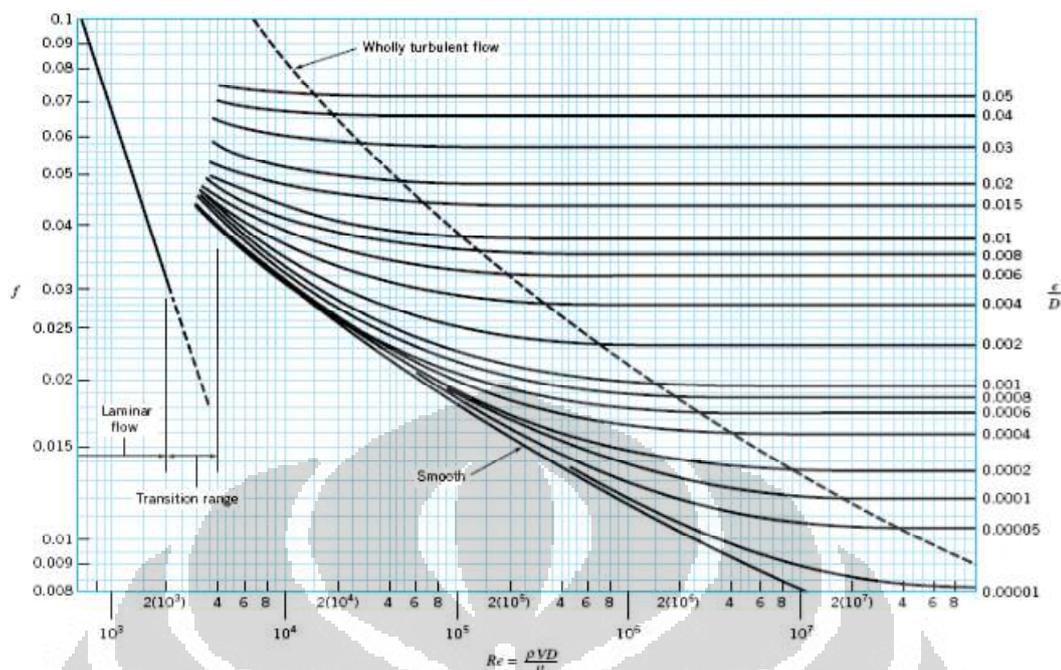
Kerugian tekanan (*pressure drop*) tergantung pada diameter pipa (D_{in}), panjang (ℓ), viskositas dinamik (μ), dan kecepatan aliran (u). Analisa dimensional digunakan untuk menentukan persamaan dari parameter-parameter diatas. Persamaan yang dihasilkan disebut persamaan Darcy-Weisbach:

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan:

f = nilai gesek.

Persamaan Darcy-Weisbach merupakan rumus dasar untuk mengukur kerugian tekanan (*head loss*) 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 sebagai berikut:



Gambar 2.11 Diagram Moody

Nilai Re kurang dari 2000, aliran pada pipa akan berbentuk laminar dan f merupakan fungsi dari Re yaitu:

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots (2.23)$$

Nilai Re kurang dari 4000, aliran pada pipa akan berbentuk laminar dan nilai f 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 sebesar 100.000. Berikut persamaan Blasius:

$$f = \frac{0,3164}{Re^{1/4}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Pada nilai Re yang sangat tinggi, f 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.

2.8. Serat

Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu serat alami dan serat buatan.

2.8.1. Serat Alami

Serat alami meliputi serat yang diproduksi oleh tumbuh-tumbuhan, hewan, dan proses geologis. Serat alam dapat diperoleh dari tanaman pisang, bambu, nenas, rosela, kelapa, kenap, dan lain-lain. Serat jenis ini bersifat dapat mengalami pelapukan. Serat alami dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Serat tumbuhan/serat pangan.
Umumnya serat ini tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan terkadang mengandung pula lignin. Contoh dari serat jenis ini yaitu katun dan kain rami. Serat tumbuhan digunakan sebagai bahan pembuat kertas dan tekstil. Serat tumbuhan juga penting bagi nutrisi manusia.
2. Serat kayu.
Serat jenis ini berasal dari tumbuhan berkayu.
3. Serat hewan.
Umumnya serat jenis ini tersusun atas protein tertentu. Contoh dari serat jenis ini yaitu ari serat hewan yang dimanfaatkan oleh manusia seperti serat sutra dan bulu domba (wol).
4. Serat mineral.
Umumnya serat jenis ini dibuat dari asbestos. Saat ini asbestos adalah satu-satunya mineral yang secara alami terdapat dalam bentuk serat panjang.

2.8.2 Tanaman Bambu

Bambu merupakan salah satu jenis tanaman perintis sehingga pertumbuhannya tidak membutuhkan faktor pendukung sebagaimana tanaman lain. Bambu bukanlah tanaman kayu, melainkan sejenis rumput raksasa karena termasuk dalam keluarga rumput-rumputan atau *Graminae*. Terdapat dua tipe pertumbuhan bambu yang telah dikenal, yaitu pertumbuhan vertikal dan berumpun, serta pertumbuhan merambat.

Saat ini terdapat 1250-1500 spesies bambu di dunia. Asia Pasifik adalah wilayah terbesar pertumbuhan tanaman bambu. Asia Pasifik yang mencakup bagian paling selatan sampai ke New Zealand 42°LS hingga bagian paling Utara sampai ke Sakhalin Tengah di 51°LU serta bagian paling timur sampai pada Kepulauan Pasifik hingga bagian paling Barat sampai ke barat daya Samudera Hindia memiliki sekitar 900 spesies. Pada wilayah ini terdapat negara utama yang menghasilkan bambu meliputi Cina, India, Myanmar, Thailand, Bengala, Kamboja, Vietnam, Jepang, Indonesia, Malaysia, Filipina, Korea Selatan, dan Sri Lanka. Indonesia aensiri merupakan daerah asal bagi 154 spesies bambu atau sekitar 10% dari total jenis bambu di dunia.

Bambu memiliki umur yang panjang dalam siklus hidupnya antara 30-100 tahun bahkan lebih, tergantung dari jenisnya. Kecepatan pertumbuhan bambu dalam menyelesaikan masa pertumbuhan vegetatifnya sendiri merupakan tercepat di antara tanaman lain. Pertumbuhan rebung menjadi bambu muda dapat berlangsung sangat cepat. Kecepatan pertumbuhan vegetatif bambu dalam waktu 24 jam berkisar 30-120 cm tergantung dari jenisnya. Namun saat suhu mulai menghangat dan dalam kondisi lingkungan yang mendukung, tanaman bambu mampu tumbuh hingga setinggi 200 cm dalam waktu 24 jam. Sebuah keajaiban pertumbuhan yang tidak dapat ditemukan pada tanaman lain.

Bambu mampu tumbuh pada hampir semua kondisi lingkungan, mulai dari tanah subur hingga gersang, daerah kering maupun banyak hujan, dengan ataupun tanpa pupuk dan pestisida, dan pada wilayah tropis maupun subtropis. Kemampuan beradaptasi bambu yang tinggi, menjadi pertimbangan pemerintah Jepang untuk memilih tanaman ini sebagai tanaman yang ditanam pertama kali dalam program konservasi alam pasca peristiwa pengeboman Hiroshima dan Nagasaki pada tahun 1945.

Keunggulan lain dari bambu adalah sekali tanam produksi dapat dilakukan secara berulang-ulang. Sifat bambu yang demikian merupakan prospek yang sangat cerah secara ekonomis dan menguntungkan secara investasi. Walaupun demikian agar produksi bambu dapat dilakukan secara berulang-ulang dalam pengelolaannya harus memegang dan memperhatikan titik kritis dari bambu, pengelolaan dalam budidaya bambu harus mengacu pada azas kelestarian

Universitas Indonesia

(kelestarian produksi dan sumberdaya). Bambu pun memiliki kemampuan yang tinggi untuk meningkatkan kandungan air dalam tanah serta mampu mengikat tanah untuk mencegah erosi.

Serat tanaman seperti bambu memiliki beberapa keuntungan seperti kemampuan *biodegradable* dan *photodegradable*, pemakaian energinya rendah, memiliki sifat spesifik yang tinggi, densitasnya rendah dan harganya relatif murah (Bismarck et al., 2006). Penelitian sifat kimia bambu telah dilakukan oleh Gusmailina dan Sumadiwangsa (1988) meliputi penetapan kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika, serta kelarutan dalam air dingin, air panas dan alkohol benzen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar selulosa berkisar antara 42,4% - 53,6%, kadar lignin bambu berkisar antara 19,8% - 26,6%, sedangkan kadar pentosan 1,24% - 3,77%, kadar abu 1,24% - 3,77%, kadar silika 0,10% - 1,78%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam air dingin) 4,5% - 9,9%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam air panas) 5,3% - 11,8%, kadar ekstraktif (kelarutan dalam alkohol benzene) 0,9% - 6,9% (Krisdianto, 2006).

Dewasa ini, serat bambu telah banyak dimanfaatkan dalam sektor industri. Contoh pemanfaatan serat bambu antara lain bahan dasar pulp atau bubur kertas, bahan pakaian dengan tekstur halus, daya serap tinggi, anti-bakterial, anti-alergi, dan nyaman dipakai saat kondisi panas maupun dingin, bahan dasar pembuatan skate board, snowboard, dan papan surfing, serta bahan pelengkap pada barang-barang elektronik seperti *casing* laptop.

BAB 3

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1. Rancangan Alat Uji

Pada penelitian ini, alat uji yang digunakan adalah alat uji aliran yang berada di laboratorium mekanika fluida lantai tiga Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Alat uji ini dirancang sebagai alat uji 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 dengan panjang dengan 6,3294 m dan diameter dalam (\varnothing in) 11 mm. Pipa ini dihubungkan dengan pompa yang digunakan untuk menghisap air yang ada di dalam tangki untuk dialirkan dalam pipa. Pada alat uji terdapat dua buah manometer yang berjarak 2,007 meter di setiap manometernya. Manometer pertama berjarak 65,5 cm dari katup bukaan pipa.



Gambar 3.1 Instalasi Alat Uji Pipa Bulat

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

1. Pompa Sentrifugal.

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

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



Gambar 3.2 Pompa Sentrifugal

Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal “Panasonic-Model No. GP-129JXV“ dengan putaran motor sebesar 2850 rpm dengan kapasitas maksimal pompa sebesar 30 l/menit dimana pompa ini memiliki *suction head* sejauh 30 m. Daya yang dibutuhkan sebesar 125 watt dengan aliran listrik satu fasa.

2. Tangki Air.

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



Gambar 3.3. Tangki Air

3. Katup (*valve*).

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



Gambar 3.4 *Valve* dengan Busur Derajat

4. Manometer.

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



Gambar 3.5 Manometer

5. Gelas Ukur.

Gelas ukur digunakan untuk mengukur waktu aliran fluida yang keluar dari pipa uji dengan volume yang telah ditentukan.



Gambar 3.6 Gelas Ukur

6. *Stopwatch*.

Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu yang diperlukan oleh sebuah fluida untuk memenuhi volume yang telah ditentukan.



Gambar 3.7 Stopwatch

7. Timbangan.

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



Gambar 3.8 Timbangan Digital

8. Pipa Penyalur.

Pipa ini terdiri dari pipa PVC dengan diameter luar 1 inch dimana pipa ini diinstalasi sesuai gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing.

3.2. Prosedur Pengambilan Sampel

Serat (*fiber*) yang digunakan sebagai zat aditif adalah serat bambu yang telah melalui beberapa proses sebagai berikut:

1. Batang bambu yang telah ditebang, dipotong-potong sepanjang 100 cm kemudian diameternya dibelah menjadi 2 bagian.
2. Potongan batang kemudian dikupas menjadi lembaran-lembaran serat.
3. Lembaran-lembaran serat dipotong secara manual menggunakan gunting dengan ukuran ± 2 mm.



Gambar 3.9 Serat Bambu 2 mm

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Unit Pengujian

Unit pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu:

1. Unit Pengujian Langsung.

Unit pengujian langsung adalah semua variabel yang diukur langsung pada saat penelitian. Nilai langsung dapat diketahui tanpa diperlukan perhitungan lebih lanjut. Unit pengujian langsung pada penelitian ini terdiri perbedaan ketinggian manometer (m), waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu (s), dan massa dari fluida (g). Seluruh nilai unit pengujian langsung digunakan sebagai input data untuk mendapatkan nilai unit pengujian tidak langsung.

2. Unit Pengujian Tidak Langsung.

Unit pengujian tidak langsung adalah semua variabel yang nilainya didapat dari perhitungan dan digunakan untuk bahan pengamatan analisa. Pada

Universitas Indonesia

pengujian ini unit pengujian langsung terdiri dari kerapatan fluida (ρ), perbeda tekanan (ΔP), debit aliran fluida (Q), kecepatan aliran fluida (u), Bilangan *Reynolds* (Re), dan gesekan (f).

3.3.2 Kondisi dalam Pengujian

Fluida yang digunakan merupakan campuran air murni dengan serat bambu yang telah dipotong-potong. Adapun konsentrasi dari campuran tersebut adalah 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Pada saat pompa mulai dihidupkan bukaan katup dimulai dari kondisi terkecil (10°) hingga bukaan terbesar (20°).

3.3.3. Prosedur Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan saat aliran sudah siap dan stabil. Pompa distabilkan dengan cara menunggu pompa bekerja terlebih dahulu selama 60 menit. Setelah kondisi putaran pompa stabil, dilihat dari ketinggian manometer dan pengambilan data dapat dimulai.

Percobaan pertama dilakukan terhadap fluida air murni tanpa penambahan serat bambu sebagai perbandingan dasar antara sampel fluida murni dengan penambahan konsentrasi serat bambu. Percobaan kedua dilakukan dengan pencampuran fluida air murni dan serat bambu sebanyak 100 ppm begitu juga berikutnya hingga pencampuran konsentrasi 200 ppm dan 300 ppm. Adapun tujuan dari perbedaan penambahan konsentrasi ini adalah untuk melihat seberapa signifikannya pengaruh serat bambu sebagai aditif penurun jatuh tekan dan hambatan pada aliran.

Percobaan dilakukan dengan melakukan variasi kecepatan aliran yang diperoleh dengan cara mengatur penutupan pada katup utama yang berada pada ujung pipa akrilik.

3.3.4. Tahapan Pengujian

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mengisi tangki dengan fluida air murni.
2. Membuka katup yang ada agar fluida bisa mengalir dan mencapai keadaan stabil.

3. Menghidupkan pompa selama 60 menit, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran hingga aliran stabil.
4. Mengatur bukaan katup sehingga aliran keluar fluida bervariasi, kemudian melihat perbedaan ketinggian pada manometer pertama dan manometer kedua.
5. Mengukur waktu yang dicapai fluida yang mengalir keluar dari pipa uji ke dalam tangki menggunakan gelas ukur dalam volume tertentu.
6. Menimbang massa fluida untuk mengetahui kerapatan dari fluida tersebut dengan menggunakan timbangan digital.
7. Melakukan langkah ke-5 sampai langkah ke-8 dengan pembukaan katup utama diperbesar sampai dengan pembukaan penuh.
8. Mencatat semua hasil yang didapat untuk melakukan pengolahan data dan analisis hasil.

3.3.5. Metode Pengolahan Data.

Untuk mendapatkan data-data hubungan yang diinginkan, maka dilakukan langkah-langkah pengolahan data sebagai berikut:

1. Menghitung nilai debit (Q) aliran fluida.

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

Keterangan:

V = volume aliran fluida (m^3)

Q = debit aliran fluida (m^2/s)

t = waktu aliran fluida (s)

2. Menghitung nilai kecepatan (u) aliran fluida.

$$u = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

u = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang pipa (m)

Q = debit aliran fluida (m^3/s)

3. Menghitung beda tekanan (ΔP).

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

Keterangan:

ΔP = perbedaan tekanan (mmHg)

ρ = kerapatan rata-rata (kg/m^3)

g = gravitasi (m/s^2)

Δh = pertambahan kedalaman (m)

4. Menghitung Bilangan *Reynolds* (Re).

$$\text{Re} = \frac{\rho u D_{\text{in}}}{\mu}$$

Keterangan:

ρ = densitas massa fluida (kg/m^3)

u = kecepatan rata-rata (m/s)

D_{in} = diameter dalam pipa (m)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

5. Menghitung friksi (f).

$$f = \frac{\Delta h 2g D_{\text{in}}}{u^2 \ell}$$

Keterangan:

Δh = pertambahan kedalaman (m)

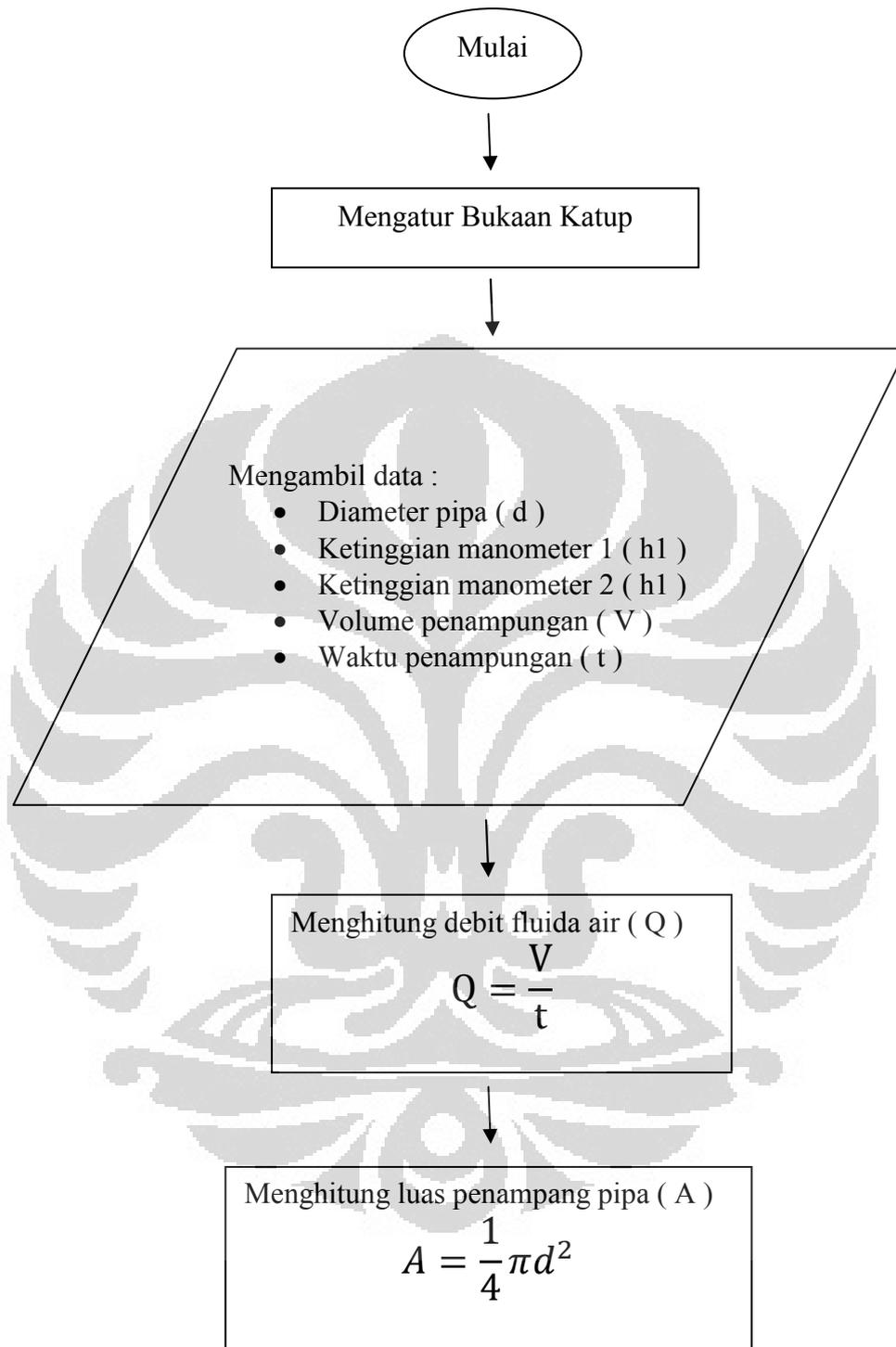
g = kecepatan gravitasi (m/s^2)

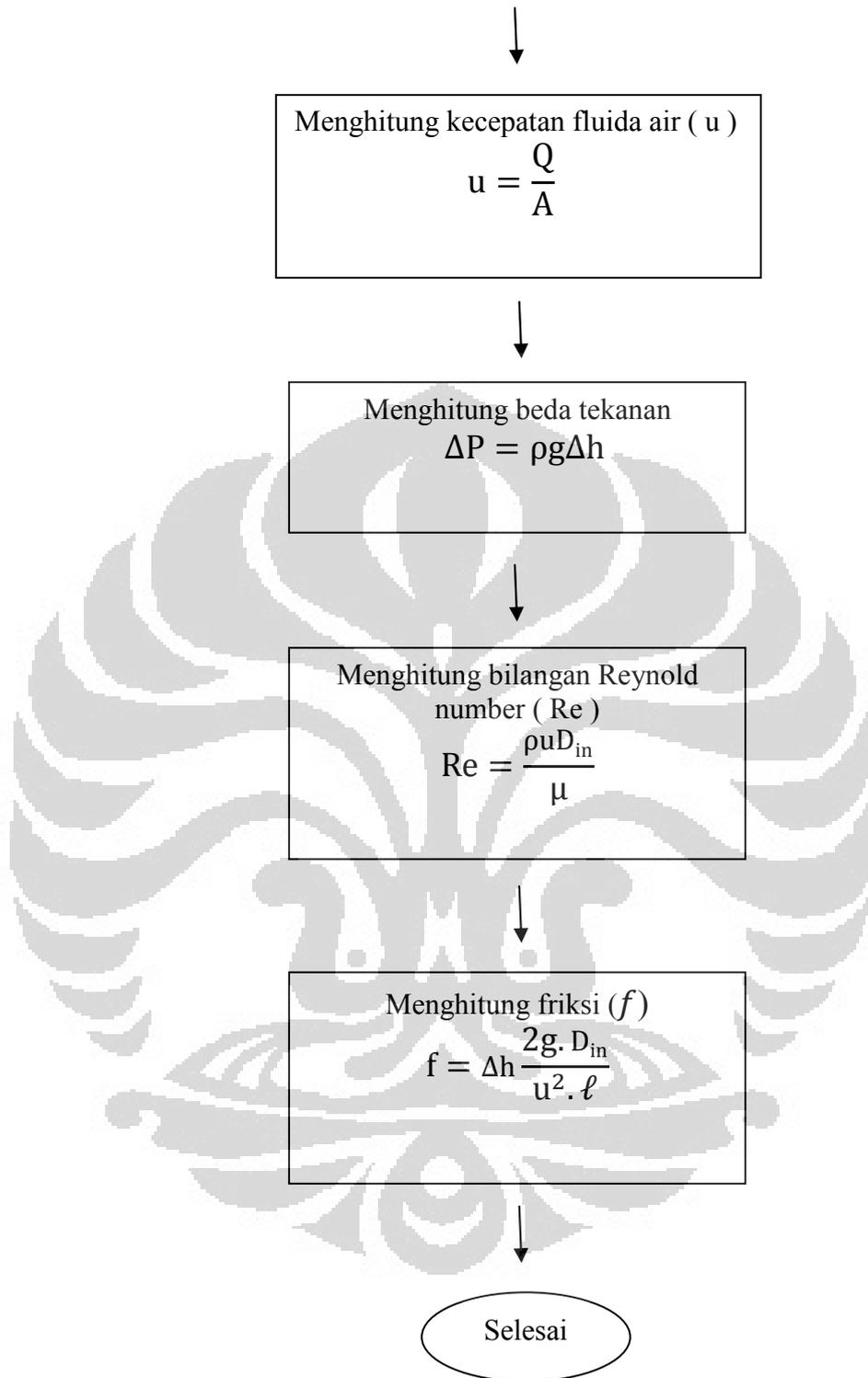
D_{in} = diameter dalam pipa (m)

u = kecepatan rata-rata (m/s)

ℓ = panjang pipa (m)

3.4 Flow Chart Penelitian





BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Perhitungan Data

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data berupa perbedaan ketinggian manometer (Δh), waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu, dan massa dari fluida. Data perbedaan ketinggian akan digunakan untuk mendapatkan perbedaan tekanan (ΔP), data volume dan waktu akan digunakan untuk mendapatkan debit aliran dan kecepatan aliran fluida, dan data massa yang ditimbang akan digunakan untuk mendapatkan kerapatan fluida. Semua data yang telah didapatkan dari hasil perhitungan akan digunakan untuk mendapatkan friksi dan Bilangan Reynolds.

4.1.1 Perhitungan Kerapatan Fluida dan Perbedaan Tekanan

Data massa hasil penimbangan yang didapat pada air murni adalah 0,99667 kg pada volume 0,001 m³. Data massa hasil penimbangan yang didapat pada air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm adalah 0,99567 kg pada volume 0,001 m³. Data massa fluida yang telah didapat digunakan untuk mencari kerapatan (ρ) dengan menggunakan persamaan 2.11. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari ρ air murni:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{m}{v} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \\ &= \frac{0,99667}{0,001} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \\ &= 996,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]\end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat nilai ρ air murni adalah 996,67 kg/m³. Dengan menggunakan contoh perhitungan di atas juga, maka nilai ρ air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat

bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm akan didapat sebesar $995,67 \text{ kg/m}^3$.

Data ketinggian manometer air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni

Bukaan Katup	h_1 (m)	h_2 (m)	Δh (m)
1	0,218	0,028	0,19
2	0,35	0,1	0,25
3	0,465	0,202	0,263
4	0,695	0,347	0,348
5	1,022	0,514	0,508
6	1,068	0,587	0,481

Tabel 4.2 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

Bukaan Katup	h_1 (m)	h_2 (m)	Δh (m)
1	0,093	0,015	0,078
2	0,275	0,111	0,164
3	0,525	0,244	0,281
4	0,682	0,323	0,359
5	1,055	0,506	0,549
6	1,115	0,538	0,577

Tabel 4.3 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

Bukaan Katup	h_1 (m)	h_2 (m)	Δh (m)
1	0,215	0,077	0,138
2	0,283	0,115	0,168
3	0,402	0,175	0,227
4	0,677	0,322	0,355
5	0,962	0,462	0,5
6	1,083	0,519	0,564

Tabel 4.4 Perbedaan Ketinggian Manometer Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

Bukaan Katup	h_1 (m)	h_2 (m)	Δh (m)
1	0,156	0,051	0,105
2	0,368	0,163	0,205
3	0,608	0,292	0,316
4	0,848	0,411	0,437
5	1,064	0,515	0,549
6	1,27	0,628	0,642

Keterangan:

h_1 = ketinggian manometer pertama

h_2 = ketinggian manometer kedua

Δh = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

Data perbedaan ketinggian (Δh) yang telah didapat digunakan untuk mencari perbedaan tekanan (ΔP) dari fluida dengan menggunakan persamaan 2.17. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/s}^2$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari ΔP air murni pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \rho g \Delta h \text{ [mmHg]} \\ &= 996,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,19 \text{ m [mmHg]} \\ &= 1857,693213 \text{ [mmHg]}\end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data perbedaan tekanan air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm sebagai berikut:

Tabel 4.5 Perbedaan Tekanan Aliran Fluida

Bukaan Katup	ΔP Air Murni (mmHg)	ΔP Serat Bambu 100 ppm (mmHg)	ΔP Serat Bambu 200 ppm (mmHg)	ΔP Serat Bambu 300 ppm (mmHg)
1	1857,693213	761,8667706	1347,918133	1025,589884
2	2444,333175	1601,873723	1640,943814	2002,342154
3	2571,4385	2744,673879	2217,227653	3086,537173
4	3402,51178	3506,540649	3467,470559	4268,40742
5	4966,885012	5362,369962	4883,76135	5362,369962
6	4702,897029	5635,860598	5508,882803	6270,749573

4.1.2 Perhitungan Debit dan Kecepatan Aliran Fluida

Data waktu (t) yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu dengan volume yang telah ditentukan sebesar 3 liter dari air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari debit (Q) aliran fluida dengan

Universitas Indonesia

menggunakan persamaan 2.1. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari Q aliran fluida air murni pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{V}{t} \\
 &= \frac{0,003 \text{ m}^3}{62 \text{ s}} \\
 &= 0,0000483871 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data Q aliran fluida air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm sebagai berikut:

Tabel 4.6 Debit Aliran Fluida Air Murni

Bukaan Katup	t (s)	Q Air Murni (m ³ /s)
1	62	4,83871E-05
2	41,39	7,24813E-05
3	30,81	9,7371E-05
4	24,19	0,000124018
5	22,28	0,00013465
6	21,57	0,000139082

Tabel 4.7 Debit Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

Bukaan Katup	t (s)	Q Serat Bambu 100 ppm (m ³ /s)
1	64,72	4,63535E-05
2	42,83	7,00444E-05
3	31,61	9,49067E-05
4	27,04	0,000110947
5	20,18	0,000148662
6	19,46	0,000154162

Tabel 4.8 Debit Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

Bukaan Katup	t (s)	Q Serat Bambu 200 ppm (m ³ /s)
1	48,07	6,2409E-05
2	40,86	7,34214E-05
3	33,63	8,92061E-05
4	27,13	0,000110579
5	22,34	0,000134288
6	20,2	0,000148515

Tabel 4.9 Debit Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

Bukaan Katup	t (s)	Q Serat Bambu 300 ppm (m ³ /s)
1	53,38	5,62008E-05
2	34,91	8,59353E-05
3	26,69	0,000112402
4	21,33	0,000140647
5	18,55	0,000161725
6	16,03	0,000187149

Keterangan:

t = waktu laju pengisian

Data kecepatan (u) aliran fluida dari air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm didapat dengan menggunakan persamaan 2.3. Besar diameter dalam pipa yang digunakan adalah 0,011 m sehingga luas penampang pipa yang digunakan adalah 0,000094985 m². Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari u aliran fluida air murni pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,0000483871 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{0,000094985 \text{ m}^2} \\
 &= 0,509418295 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data u aliran fluida air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm sebagai berikut:

Tabel 4.10 Kecepatan Aliran Fluida

Bukaan Katup	u Air Murni (m/s)	u Serat Bambu 100 ppm (m/s)	u Serat Bambu 200 ppm (m/s)	u Serat Bambu 300 ppm (m/s)
1	0,509418295	0,488008874	0,657040447	0,591681047
2	0,763081283	0,737425503	0,772979303	0,904724558
3	1,025119581	0,999175397	0,93915951	1,183362095
4	1,305660782	1,168044908	1,164170081	1,480728284
5	1,417591306	1,565110719	1,413783989	1,702637968
6	1,464252865	1,623018207	1,563561104	1,970301579

4.1.3 Perhitungan Friksi dan Bilangan Reynolds

Data dari hasil pengujian dari air murni, air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm, air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm, dan air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari friksi (f) aliran fluida dengan menggunakan persamaan 2.23 dan Bilangan Reynolds (Re) dengan menggunakan persamaan 2.20.

4.1.3.1. Air Murni

Data Δh dan u aliran fluida dari air murni yang telah didapat digunakan untuk mencari friksi (f) aliran fluida. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/s}^2$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan jarak antara manometer yang digunakan adalah $2,007 \text{ m}$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari f aliran fluida air murni pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{\Delta h 2gD_{in}}{u^2 \ell} \\
 &= \frac{0,19 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{(0,509418295 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right])^2 \cdot 2,007 \text{ m}} \\
 &= 0,078731557
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data f aliran fluida air murni sebagai berikut:

Tabel 4.11 Friksi Aliran Fluida Air Murni

Bukaan Katup	f
1	0,03873
2	0,03651
3	0,03589
4	0,03435
5	0,03218
6	0,03212

Keterangan:

f = friksi aliran fluida yang terjadi

Data u aliran fluida dari air murni yang telah didapat digunakan untuk mencari Bilangan Reynolds (Re). Nilai ρ air murni yang digunakan adalah 996,67 kg/m³, diameter dalam pipa yang digunakan adalah 0,011 m, dan viskositas kinematik (ν) yang digunakan adalah 0,0007975 m²/s. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari Re air murni pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho u D_{in}}{\nu} \\
 &= \frac{996,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,509418295 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{0,0007975 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \\
 &= 7003,061136
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data Re air murni sebagai berikut:

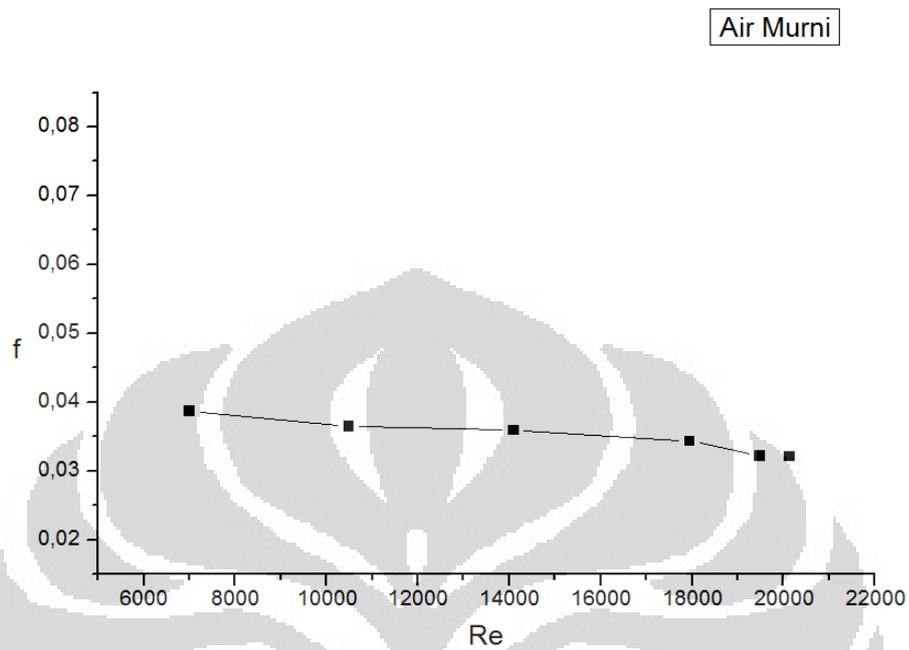
Tabel 4.12 Bilangan Reynolds Air Murni

Bukaan Katup	Re
1	7003,061
2	10490,21
3	14092,5
4	17949,14
5	19487,87
6	20129,34

Keterangan:

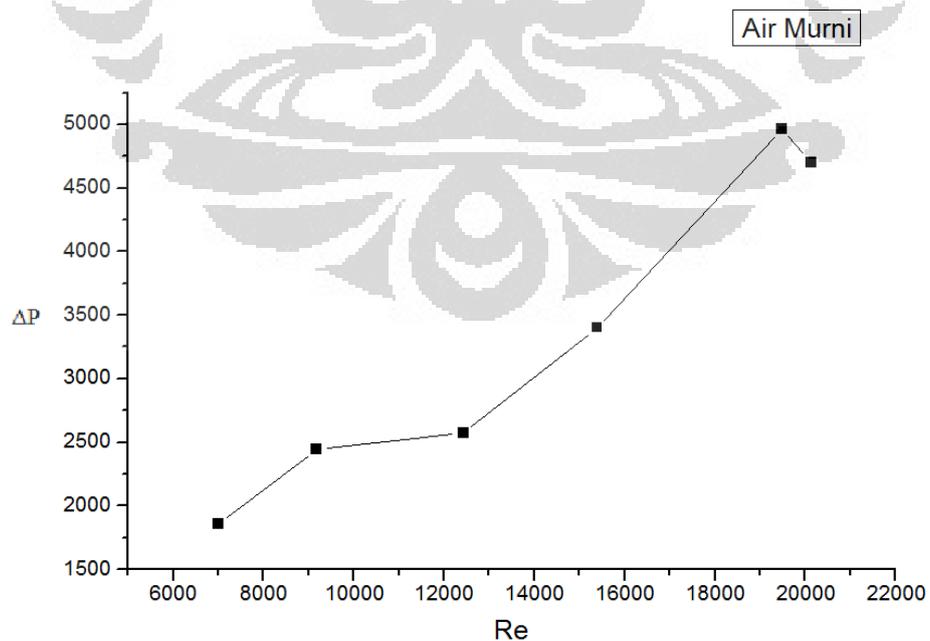
Nilai ν untuk air murni didapat dari fungsi temperatur fluida pada suhu 27°C

Nilai friksi aliran fluida dan Bilangan Reynolds dari air murni yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds-Friksi sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Re-f Air Murni

Selanjutnya nilai ΔP dan Bilangan Reynolds dari air murni yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds- ΔP sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Re- ΔP Air Murni

4.1.3.2. Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

Data Δh dan u aliran fluida dari air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari friksi (f) aliran fluida. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/s}^2$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan jarak antara manometer yang digunakan adalah $2,007 \text{ m}$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari f aliran fluida air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{\Delta h 2gD_{in}}{u^2 \ell} \\
 &= \frac{0,078 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{(0,488008874 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right])^2 \cdot 2,007 \text{ m}} \\
 &= 0,035219524
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data f aliran fluida air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm sebagai berikut:

Tabel 4.13 Friksi Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

Bukaan Katup	f
1	0,035219524
2	0,032430367
3	0,030266846
4	0,028295651
5	0,024100526
6	0,02355447

Keterangan:

f = friksi aliran fluida yang terjadi

Data u aliran fluida dari air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari Bilangan Reynolds (Re). Nilai ρ air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm yang digunakan adalah $995,67 \text{ kg/m}^3$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan viskositas kinematik (ν) yang digunakan adalah $0,0007975 \text{ m}^2/\text{s}$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari Re air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho u D_{in}}{\nu} \\
 &= \frac{995,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,488008874 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{0,0007975 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \\
 &= 6702,010969
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data Re air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm sebagai berikut:

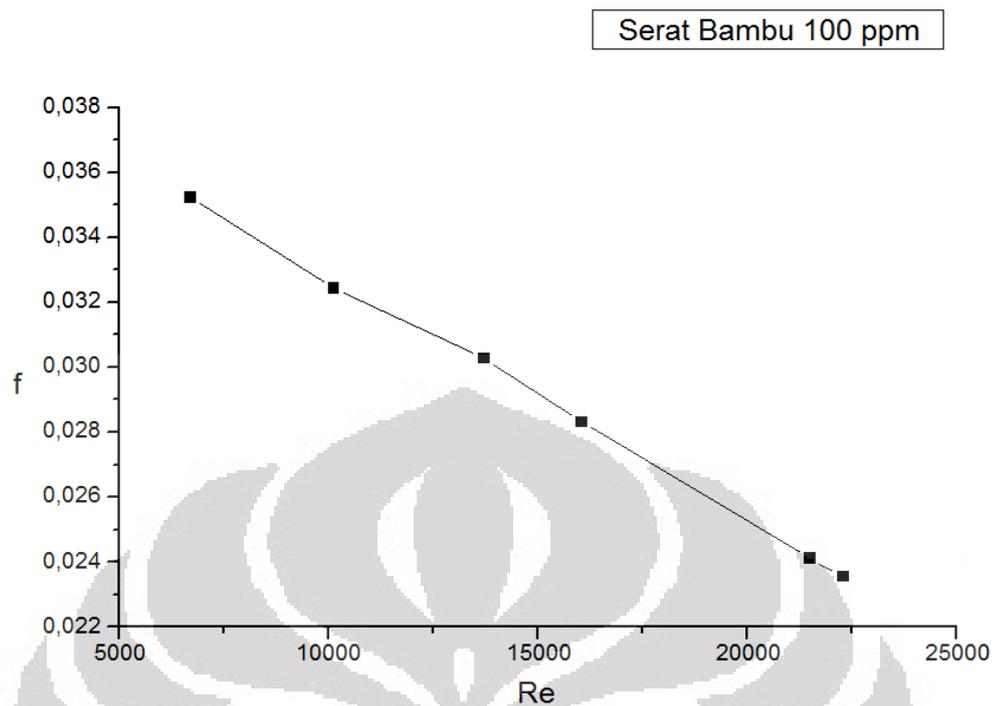
Tabel 4.14 Bilangan Reynolds Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

Bukaan Katup	Re
1	6702,010969
2	10127,34415
3	13722,05473
4	16041,20377
5	21494,25916
6	22289,52466

Keterangan:

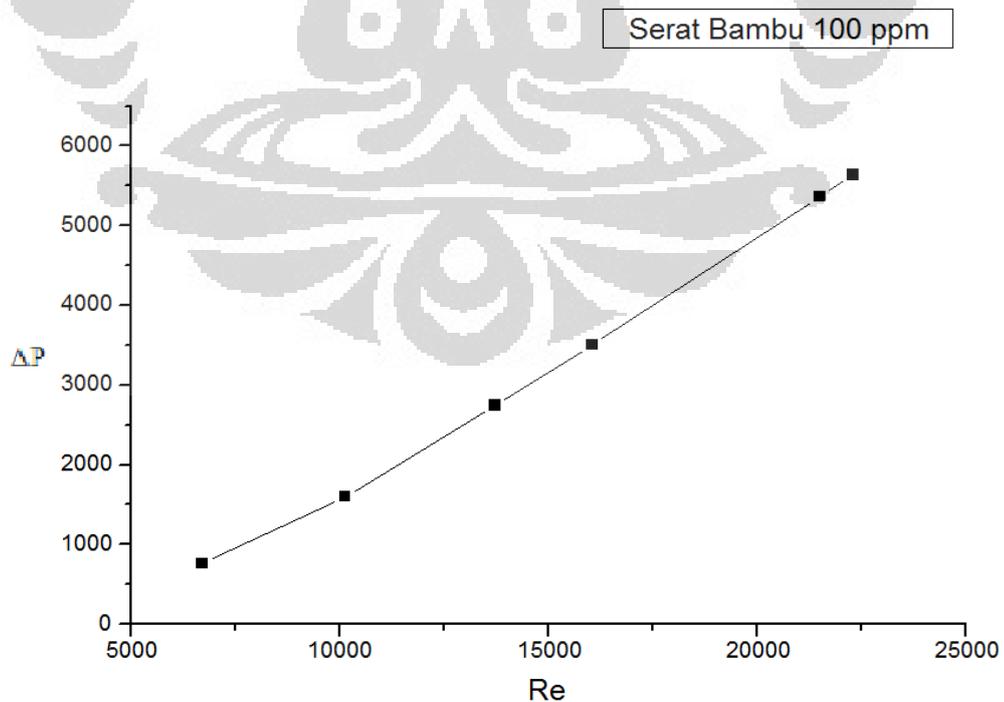
Nilai ν untuk air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm dianggap sama dengan nilai ν untuk air murni yang didapat dari fungsi temperatur fluida pada suhu 27°C

Nilai friksi aliran fluida dan Bilangan Reynolds dari air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds-Friksi sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik Re-f Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

Selanjutnya nilai ΔP dan Bilangan Reynolds dari air murni dengan penambahan serat bambu 100 ppm yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds- ΔP sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik Re- ΔP Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 100 ppm

4.1.3.3. Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

Data Δh dan u aliran fluida dari air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari friksi (f) aliran fluida. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/s}^2$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan jarak antara manometer yang digunakan adalah $2,007 \text{ m}$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari f aliran fluida air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm pada bukaan katup pertama:

$$f = \frac{\Delta h 2gD_{in}}{u^2 \ell}$$

$$= \frac{0,138 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{(0,657040447 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right])^2 \cdot 2,007 \text{ m}}$$

$$= 0,034374722$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data f aliran fluida air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm sebagai berikut:

Tabel 4.15 Friksi Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

Bukaan Katup	f
1	0,034374722
2	0,03023555
3	0,027675244
4	0,028166949
5	0,026899747
6	0,024808111

Keterangan:

f = friksi aliran fluida yang terjadi

Data u aliran fluida dari air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari Bilangan Reynolds (Re). Nilai ρ air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm yang digunakan adalah $995,67 \text{ kg/m}^3$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan viskositas kinematik (ν) yang digunakan adalah $0,0007975 \text{ m}^2/\text{s}$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari Re air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho u D_{in}}{\nu} \\
 &= \frac{995,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,657040447 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{0,0007975 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \\
 &= 9023,385686
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data Re air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm sebagai berikut:

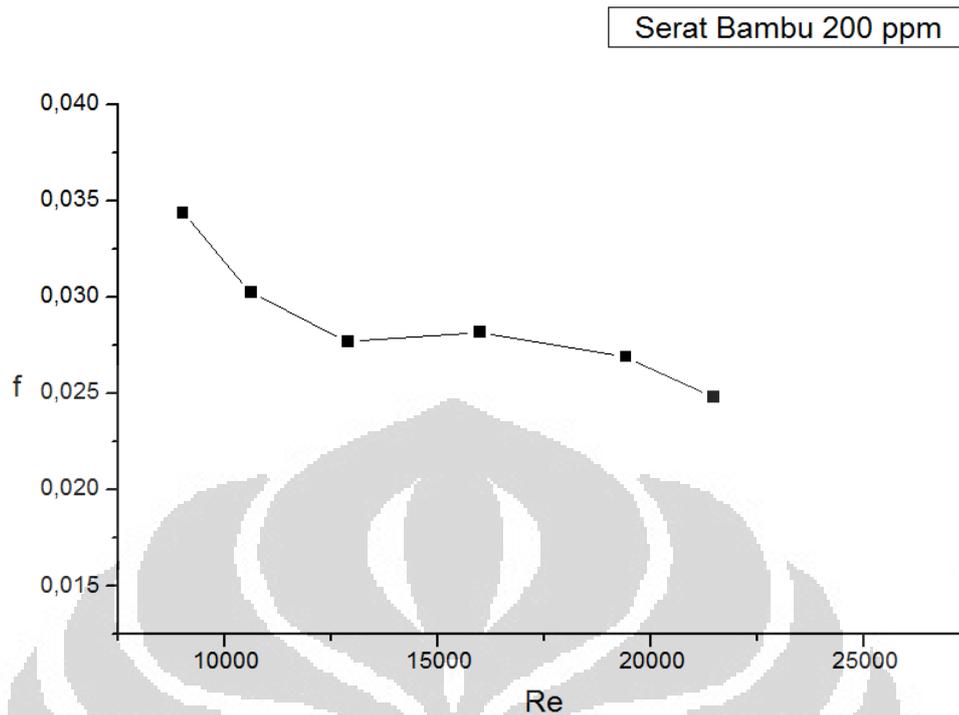
Tabel 4.16 Bilangan Reynolds Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

Bukaan Katup	Re
1	9023,385686
2	10615,61796
3	12897,83378
4	15987,98931
5	19416,03178
6	21472,97772

Keterangan:

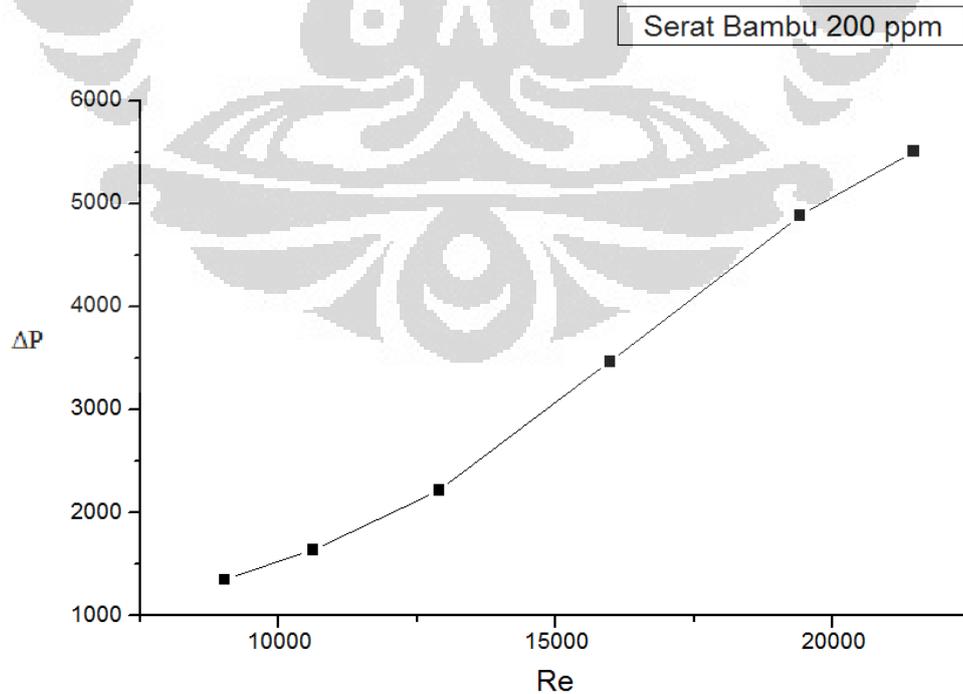
Nilai ν untuk air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm dianggap sama dengan nilai ν untuk air murni yang didapat dari fungsi temperatur fluida pada suhu 27°C

Nilai friksi aliran fluida dan Bilangan Reynolds dari air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds-Friksi sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik Re-f Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

Selanjutnya nilai ΔP dan Bilangan Reynolds dari air murni dengan penambahan serat bambu 200 ppm yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds- ΔP sebagai berikut:



Gambar 4.6 Grafik Re- ΔP Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 200 ppm

4.1.3.4. Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

Data Δh dan u aliran fluida dari air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari friksi (f) aliran fluida. Nilai percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/s}^2$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan jarak antara manometer yang digunakan adalah $2,007 \text{ m}$. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari f aliran fluida air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{\Delta h 2g D_{in}}{u^2 \ell} \\
 &= \frac{0,105 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{(0,591681047 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right])^2 \cdot 2,007 \text{ m}} \\
 &= 0,032252122
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data f aliran fluida air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm sebagai berikut:

Tabel 4.17 Friksi Aliran Fluida Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

Bukaan Katup	f
1	0,032252122
2	0,026931802
3	0,024265883
4	0,021432607
5	0,020364419
6	0,017783365

Keterangan:

f = friksi aliran fluida yang terjadi

Data u aliran fluida dari air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang telah didapat digunakan untuk mencari Bilangan Reynolds (Re). Nilai ρ air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang digunakan adalah $995,67 \text{ kg/m}^3$, diameter dalam pipa yang digunakan adalah $0,011 \text{ m}$, dan viskositas kinematik (ν) yang digunakan adalah $0,0007975 \text{ m}^2/\text{s}$. Berikut contoh

perhitungan yang digunakan untuk mencari Re air murni pada bukaan katup pertama:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho u D_{\text{in}}}{\nu} \\ &= \frac{995,67 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0,591681047 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,011 \text{ m}}{0,0007975 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \\ &= 8125,780253 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas, didapat data Re air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm sebagai berikut:

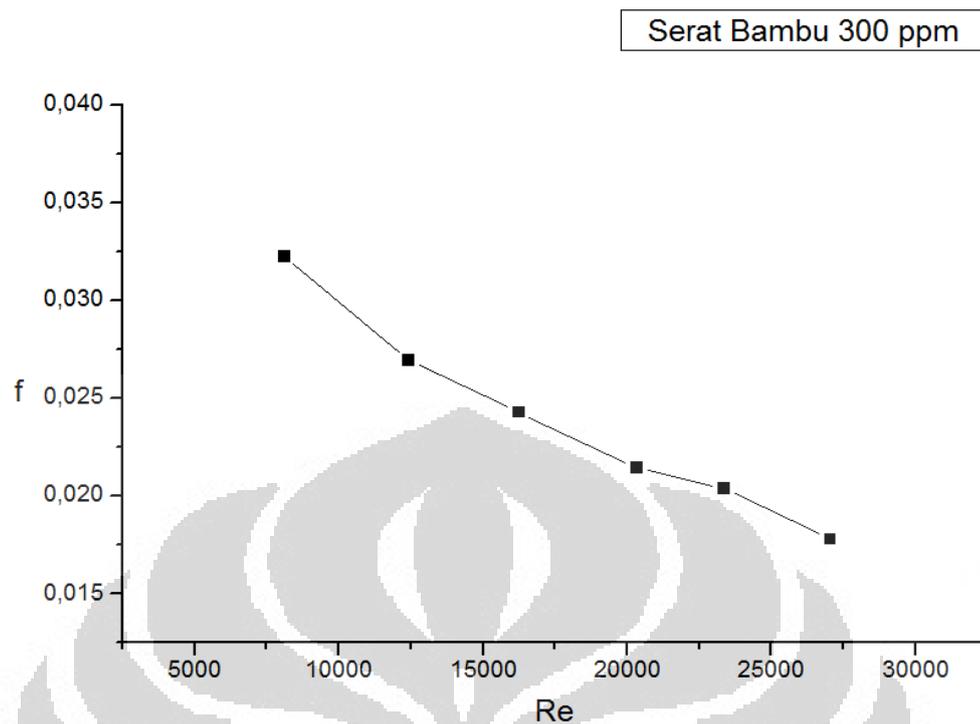
Tabel 4.18 Bilangan Reynolds Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

Bukaan Katup	Re
1	8125,780253
2	12424,92552
3	16251,56051
4	20335,40318
5	23382,97304
6	27058,89894

Keterangan:

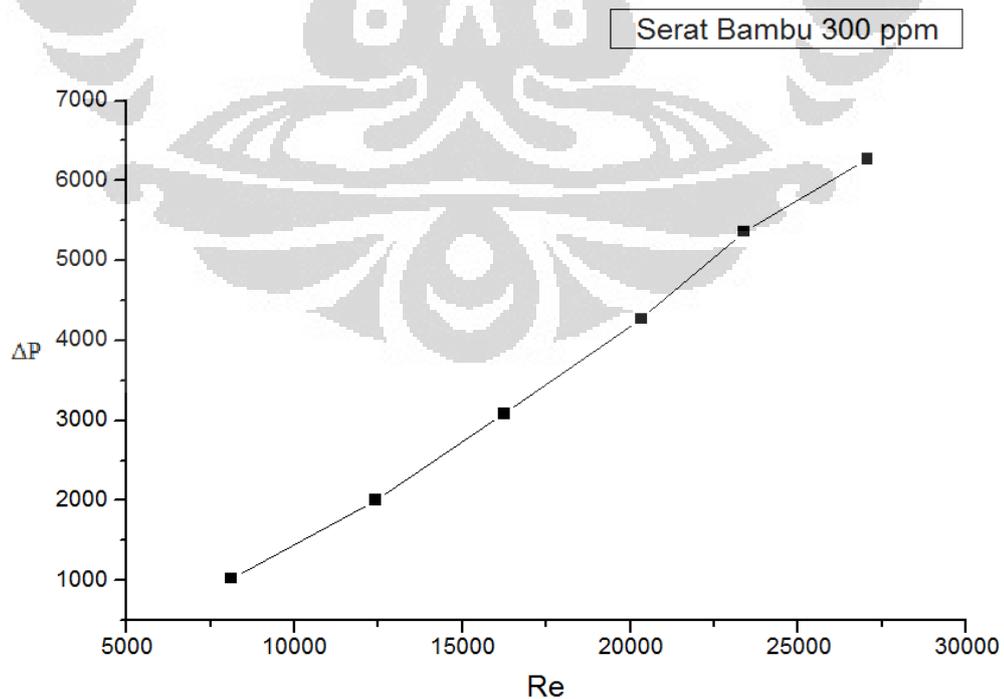
Nilai ν untuk air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm dianggap sama dengan nilai ν untuk air murni yang didapat dari fungsi temperatur fluida pada suhu 27°C

Nilai friksi aliran fluida dan Bilangan Reynolds dari air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds-Friksi sebagai berikut:



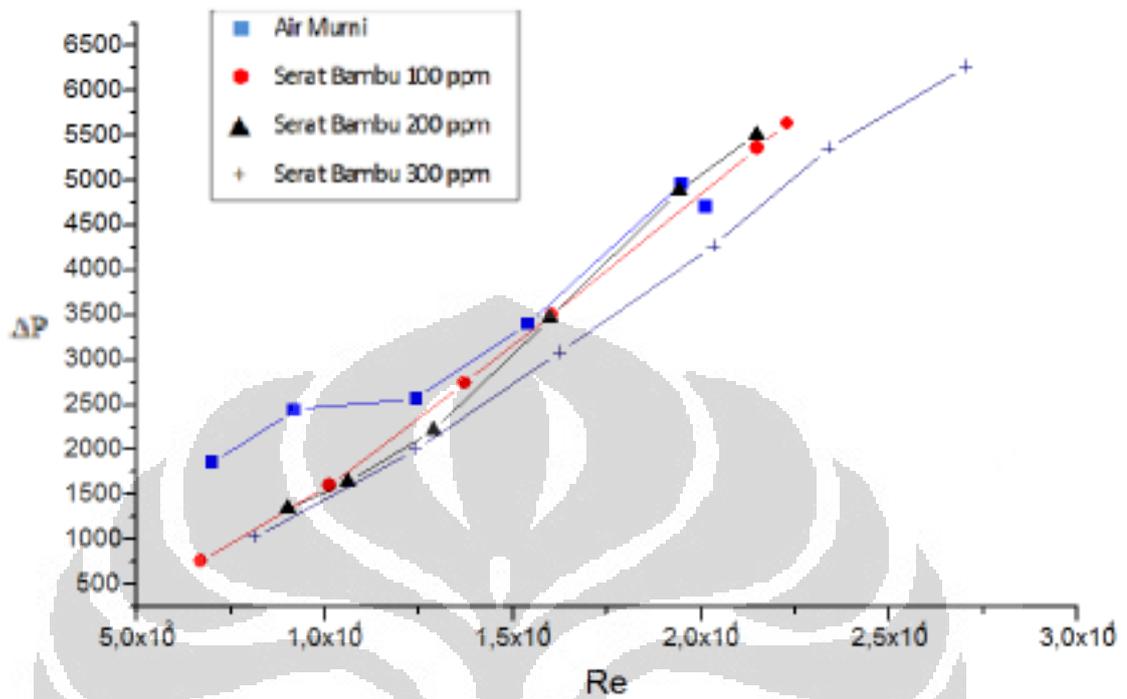
Gambar 4.7 Grafik Re-f Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

Selanjutnya nilai ΔP dan Bilangan Reynolds dari air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm yang telah didapat dibentuk kedalam grafik Bilangan Reynolds- ΔP sebagai berikut:

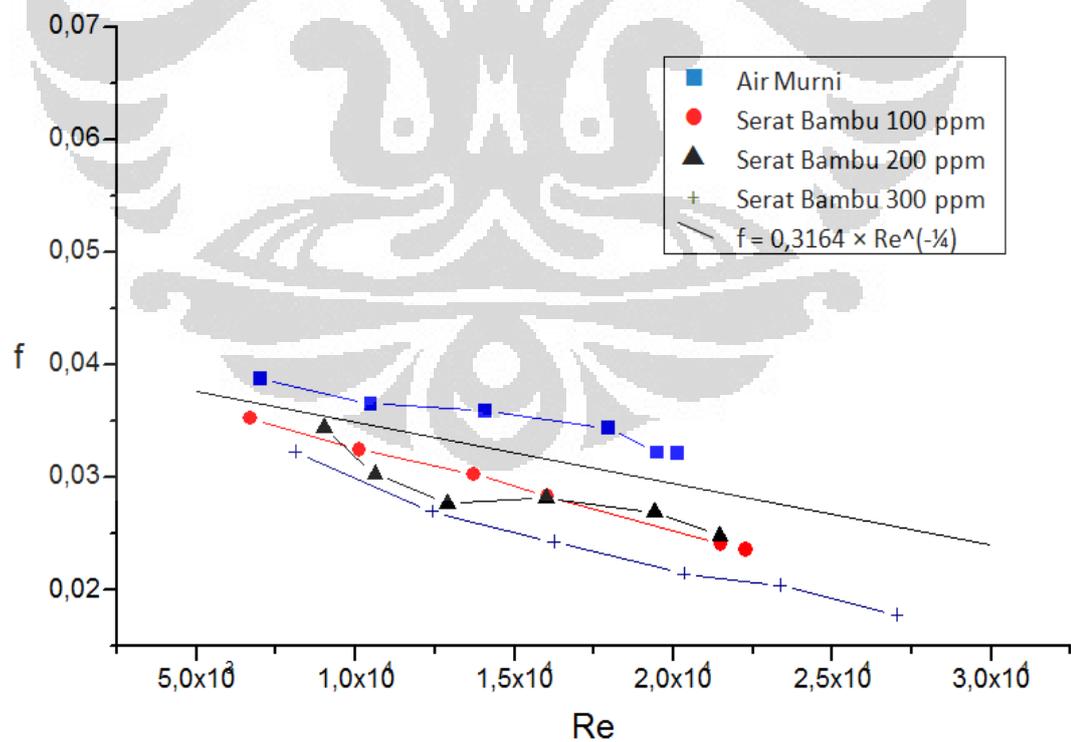


Gambar 4.8 Grafik Re- ΔP Air Murni dengan Penambahan Serat Bambu 300 ppm

4.2 Analisis Data



Gambar 4.9 Grafik Pembanding Re- ΔP Aliran Fluida



Gambar 4.10 Grafik Pembanding Re-f Aliran Fluida

Dapat dilihat dari grafik $Re-\Delta P$ yang ditunjukkan, nilai grafik $Re-\Delta P$ air murni dengan penambahan serat bambu berada di bawah nilai grafik air murni. Dari grafik dapat ditunjukkan bahwa air murni yang ditambahkan serat bambu dengan kadar tertentu akan mengalami jatuh tekan aliran (*pressure drop*). Dapat dilihat dari grafik $Re-f$ yang ditunjukkan juga, nilai grafik $Re-f$ air murni dengan penambahan serat bambu berada di bawah nilai grafik air murni. Dari grafik dapat ditunjukkan bahwa air murni yang ditambahkan serat bambu dengan kadar tertentu akan mengalami penurunan friksi. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, serat bambu yang ditambahkan ke dalam air murni dengan kandungan sebesar 300 ppm adalah kadar optimal untuk mendapatkan penurunan gesekan dan tekanan.

Persentase *drag reduction* yang terjadi pada Re sebesar 17500 dengan penambahan serat bambu 300 ppm adalah 33,11188 %. Berikut perhitungan *drag reduction* yang didapat:

$$\begin{aligned} \% \text{ drag reduction} &= \frac{f_{\text{air murni}} - f_{\text{air murni dengan penambahan serat bambu 300 ppm}}}{f_{\text{air murni}}} \\ &= \frac{0,0233997 - 0,034983}{0,034983} \\ &= 33,11188 \% \end{aligned}$$

BAB 5 PENUTUP

1.7 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

4. Penambahan air murni dengan aditif serat bambu dapat mengurangi jatuh tekan (*pressure drop*) dan friksi.
5. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, serat bambu yang ditambahkan ke dalam air murni dengan kandungan sebesar 300 ppm adalah kadar optimal untuk mendapatkan penurunan jatuh tekan (*pressure drop*) dan friksi.
6. Persentase *drag reduction* yang terjadi pada Re sebesar 17500 dengan penambahan serat bambu 300 ppm adalah 33,11188 %.

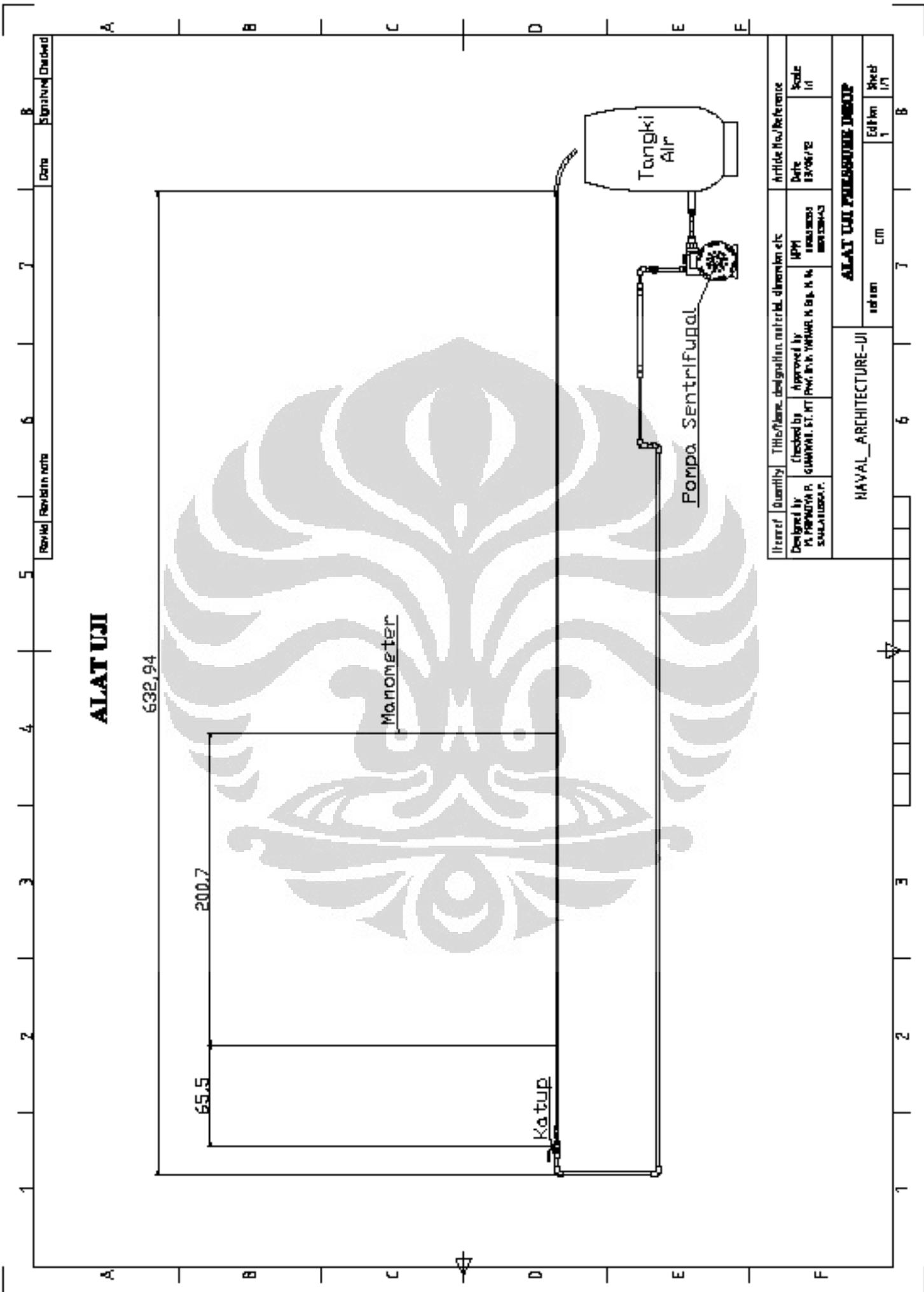
1.8 Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan air murni sebagai media aliran serat bambu sehingga belum sesuai dengan pengaplikasiannya secara langsung. Pada penelitian selanjutnya akan lebih sesuai jika media aliran serat bambu menggunakan air laut (*sea water*).
2. Data-data yang diambil pada saat pengujian akan lebih akurat apabila menggunakan peralatan pembaca tekanan pada pipa yang lebih sensitif dan presisi.
3. Untuk mendapatkan data yang akurat dari suatu penelitian, perlu digunakan jenis pompa yang memiliki kestabilan putaran dalam kondisi putaran rendah dan tinggi.
4. Proses pengaturan laju aliran yang digunakan diatur dengan menggunakan *ball valve* yang tidak presisi, sehingga untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi dapat digunakan *adjustable valve*.
5. Penggunaan aditif alternatif dapat dikembangkan dengan aditif alternatif lainnya berupa serat-serat alami yang ada di lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bismarck, A., Baltazar-Y-Jimenez, A., & Sarlkakis, K. (2006), *Green composites as panacea? socio-economic aspects of green materials environment*. Development and Sustainability.
- Gyr, A., & Bewersdorff, H.-W. (1995). *Drag Reduction of Turbulent Flows by Additives*. London: Kluwer Academic Publishers.
- Krisdianto, G. S., & Agus I. (2006). *Sari hasil penelitian bambu*. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Motier, J.F. & Prilutski, D.J. (1984). *Case histories of polymer drag reduction in commercial pipelines*. In Sellin & Moses, F2 1-14.
- Moyls, A. Leigh, & Sabersky, Rolf H. (1978). Heat Transfer and Friction coefficients for Dilute Suspensions of Asbestos Fibers. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 21, 7-14.
- Munson, B. R. (2000). *Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Ed*. John Wiley & Sons, Inc.
- NN (2009). *Penyebaran bambu di dunia*. Juli 7, 2009. Beijing Flier Commodity Co., Ltd. <http://www.flyer-int.com/textileList.asp?id=270&languageid=26&cateid=6&catename=Eco-tekstil>
- NN. *Bambu*. Mekarsari. http://mekarsari.com/index.php?option=com_content&view=article&id=237%3Abambu&catid=91%3Atanaman-pelindung&Itemid=92&lang=en
- Ridwan. (2005). *Seri Diktat Kuliah – Mekanika Fluida Dasar*. Jakarta: Penerbit Gunadarma.
- Souveniergus, Torang Ridho. (2011). *Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa Mulus Acrylic Ø 8 mm*. Depok: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Subiantoro, Andrey. (2007). *Sekilas tentang bambu*. Januari 28, 2009. <http://andreysubiantoro.jigsy.com/entries/sda/sekilas-tentang-bambu>



ALAT UJI

632,94

200,7

65,5

Manometer

Katup

Pompa Sentrifugal

Tangki Air

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No/Reference
Designed by PA PRAPATI R. GUMILAH, ST. MT SOLATUBATA	Checked by PENG. DR. YUSUF N. S. N.	IPM INDONESIA BERTAMBAH	Date 13/06/12
HAVAL_ARCHITECTURE-UI		revision	Scale 1/1
ALAT UJI PRESSURE INSUP		cm	Edition 1
		7	Sheet 1/1