



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP) ALIRAN DALAM
PIPA DENGAN FLUIDA KERJA LARUTAN AIR TAPE KETAN**

(Oryza sativa L var forma glutinosa)


SKRIPSI

**RAHMAT SANDI SIDDIK
0806368811**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : **Rahmat Sandi Siddik**
NPM : **0806368811**
Tanda Tangan : 
Tanggal : **24 Juni 2011**

HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rahmat Sandi Siddik
NPM : 0806368811
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengurangan Jatuh Tekan (Pressure Drop) Aliran Dalam
Pipa Dengan Fluida Kerja Larutan Air Tape Ketan
(*Oryza sativa* L var forma *glutinosa*)

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 Albert Talahatu, M.T ()

Penguji : Hadi Tresno, M.Eng ()

Penguji : Ir Mukti Wibowo ()

Penguji : Ir. Sunaryo, PhD ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

KATA PENGANTAR

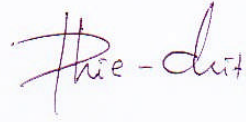
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmatnya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng Msc., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi arahan, bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
2. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan bermacam ilmu yang telah didapat;
3. Seluruh staf karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah membantu dalam proses penelitian;
4. Ayah dan Ibu ku Tercinta
5. Kakakku, keponakan dan keluarga besarku;
6. Gunawan dan Baqi yang dengan baik hati berbagi pengetahuan dalam mengerjakan penelitian ini;
7. Teman-teman seperjuangan PPSE Teknik Mesin UI angkatan 2008 atas doa dan bantuannya.
8. Teman-teman dari Lab Fluida Teknik Mesin Universitas Indonesia
9. Teman-teman kosan dan kerabat di PT. HM Sampoerna

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi saya pribadi ataupun siapapun dalam berbagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Semoga kita selalu berbagi dalam ilmu dan pengalaman dan saling membantu satusama lain demi kemajuan ilmu pengetahuan kita, Amin.

Depok, Juni 2011



Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rahmat Sandi Siddik
NPM : 0806368811
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**PENGURANGAN JATUH TEKAN (PRESSURE DROP) ALIRAN DALAM
PIPA DENGAN FLUIDA KERJA LARUTAN AIR TAPE KETAN
(*Oryza sativa L var forma glutinosa*)**

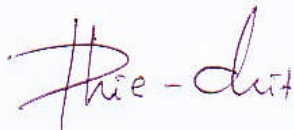
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan,



(Rahmat Sandi Siddik)

ABSTRAK

Nama : Rahmat Sandi Siddik

Program Studi : Teknik Mesin

PENGURANGAN JATUH TEKANAN (PRESSURE DROP) ALIRAN DALAM PIPA DENGAN FLUIDA KERJA LARUTAN AIR TAPE KETAN

(*Oryza sativa* L var *forma glutinosa*)

Fluida memerlukan suatu media penghantar untuk dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lainnya, salah satunya menggunakan sistem perpipaan. Kerugian aliran dalam pipa terjadi akibat pergesekan antara lapisan-lapisan fluida yang mempunyai kecepatan berbeda.

Turunan formula Navier- stokes dipakai untuk menghitung kerugian tekanan dalam pipa. Panjang pipa, diameter pipa, kecepatan fluida, kekasaran permukaan dan koefisien gesek adalah faktor yang mempengaruhi nilai kerugian tekanan. Formula ini tidak berlaku untuk belokan atau percabangan, setelah katup, adanya perubahan diameter dan getaran.

Pada penelitian ini fluida akan dialirkan dengan bantuan pompa sentrifugal dan dialirkan melewati pipa bulat berukuran ½inch lalu alirannya akan dicabangkan dengan pipa acrylic berdiameter 12mm berprofil bulat dan pipa berpenampang persegi dengan aspek rasio 1. Fluida yang digunakan adalah air tape ketan dan air murni sebagai pembandingnya.

Umumnya pipa berpenampang persegi memiliki faktor gesek yang lebih kecil dibanding pipa berprofil kotak pada reynold number yang sama, dikarenakan aliran yang mengalir pada pipa persegi diduga mengalami penundaan kondisi transisi aliran laminar ke turbulen. Drag reduction pada Re 5000-74000 di pipa bulat yaitu sebesar 2-10%, sedangkan pada pipa persegi sebesar 1-6% (Re 5000-47000) dengan fluida kerja air tape ketan

Kata kunci : biopolimer air tape ketan, koefisien gesek pipa bulat dan pipa persegi.

ABSTRACT

Name : Rahmat Sandi Siddik

Program Study : Engineering

THE REDUCTION FLOW OF PRESSURE DROP IN PIPE WITH BIOPOLYMER GLUTINOUS WATER FLUID

(*Oryza sativa* L var *forma glutinosa*)

Fluid required a medium conductor to be moved from one place to another, one of them using a piping system. Flow losses in pipes due to friction between layers of fluid who having a different speed. Between the flow with low speed and flow with higher speed (speed of distribution). The vertical flow to the axis (secondary flow) that occur will increase the pressure loss.

Differential Navier-Stokes formula is used to calculate a pressure lost in a pipe. The pressure lost influence by the pipe length, the pipe diameter, the fluid of velocity, surface roughness of pipe, and friction coefficient. This formula could not be applied to the turning or branch of the pipe, after the valve, pipe in which its diameter has changed and shock or vibration occurs.

In this study, the fluid will flow with the aid of centrifugal pump and flowed through the pipe size of ½ inch round and then the flow will directed of divarication with 12 mm diameter pipe that the profile is acrylic round and square pipes, incorporating the ratio of 1. The fluid used is Tape Ketan water and pure water as a comparison.

Generally, pipe square, incorporating a friction factor which is smaller than the round pipe at the same of Reynold Number, because the flow that flows in a square pipe in suspected respite transition of condition the laminar flow to turbulent flow. Drag reduction in circular pipe with Re 5000-74000 is 2-10%, and in a square pipe is 1-6% (Re 5000-47000) used biopolymer glutinous water.

Keywords : biopolymer glutinous water, friction coefficient of round pipe and square pipe.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Rumusan Masalah	1
Tujuan Penelitian	2
Batasan Masalah	2
Metode Penelitian	2
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Definisi Fluida	4
2.2 Klasifikasi Aliran Fluida	4
2.2.1 Fluida Newtonian	5
2.2.2 Fluida Non-Newtonian	6
2.2.3 Power Law Index	11
2.3 Aliran Fluida	12
2.4 Sifat-Sifat Fluida	14
2.4.1 Densitas	14
2.4.2 Viskositas	15
2.4.3 Bilangan Reynolds	16

2.5 Sifat-Sifat Umum Aliran Pipa.....	17
2.5.1 Aliran Laminar dan Aliran Turbulen	17
2.5.2 Transisi dari Aliran Laminar Menuju Aliran Turbulen	19
2.5.3 Tekanan dan Tegangan Gesek	21
2.6 Analisis Dimensional Aliran Pipa	21
2.6.1 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Aliran Dalam Pipa	21
2.6.2 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh	22
2.6.3 Koefisien Gerak	24
2.6.4 Persamaan – Persamaan Gerak Untuk Fluida Viskos	26
2.6.5 Kerugian Minor	27
2.7 Persamaan Fluida	28
2.7.1 Laju Aliran Volume	28
2.7.2 Distribusi Kecepatan	29
BAB III PEMBUATAN ALAT UJI DAN METODE	33
3.1 Pembuatan Alat Uji	33
3.2 Ruang Lingkup Pengujian	34
3.3 Lokasi Pengujian	35
3.4 Susunan Alat	35
3.5 Persiapan Pengujian	35
3.6 Pengujian	36
3.6.1 Tahap Pengujian	36
3.7 Rangka Uji	38
3.8 Pompa Sentrifugal	39
3.9 Manometer	39
3.10 Peralatan Pendukung	39
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA	42
4.1 Perhitungan Data	42
4.2 Pengujian I	42
4.2.1 Contoh perhitungan pada pengujian I	43
4.2.2 Analisa Hasil Pengujian I	48
4.3 Pengujian II	49
4.3.1 Contoh perhitungan pada pengujian II	49

4.3.2 Analisa Hasil Pengujian II	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Aliran Fluida	5
Gambar 2.2	Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian	7
Gambar 2.3	Variasi linear dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk beberapa jenis fluida.	8
Gambar 2.4	Distribusi Kecepatan <i>bingham plastic fluid</i> pada pipa.....	9
Gambar 2.5	Hubungan shear stress (τ) - shear rate ($\dot{\gamma}$) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu.....	10
Gambar 2.6	Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan.....	14
Gambar 2.7	(a) Eksperimen untuk mengilustrasikan jenis aliran, (b) Guratan zat pewarna yang khas	18
Gambar 2.8	Transisi dari aliran Laminar menjadi Turbulen di dalam sebuah pipa.....	20
Gambar 2.9	Distribusi tekanan sepanjang pipa horizontal.....	21
Gambar 2.10	Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh pada sistem pipa	23
Gambar 2.11	Faktor gesek sebagai fungsi Bilangan Reynolds dan hubungan kekasaran pada pipa bulat. Diagram Moody.....	25
Gambar 2.12	Distribusi Kecepatan <i>laminar dan turbulent</i> pada pipa bulat.....	30
Gambar 2.13	Pengukuran perbedaan tekanan pada pitot tube	31
Gambar 3.1	Rangka Alat Uji.....	39
Gambar 3.2.	Pompa Sentrifugal	39
Gambar 3.3	Gelas Ukur.....	40
Gambar 3.4	<i>Stopwatch</i>	40
Gambar 3.5	Termometer	41
Gambar 3.6	Timbangan Digital.....	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Fluida air pada pipa bulat	45
Grafik 4.2	Fluida air pada pipa persegi.....	48
Grafik 4.3	Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air + 10gr air tape ketan	52
Grafik 4.4	Koefisien gesek pada pipa persegi dengan fluida air + 10gr air tape ketan	55
Grafik 4.5	Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air + 20gr air tape ketan	58
Grafik 4.6	Koefisien gesek pada pipa persegi dengan fluida air + 20gr air tape ketan	61
Grafik 4.7	Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air + 30gr air tape ketan	64
Grafik 4.8	Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air + 30gr air tape ketan	67
Grafik 4.9	Koefisien gesek yang terjadi pada pipa bulat dengan variasi campuran air tape ketan	68
Grafik 4.10	Koefisien gesek yang terjadi pada pipa kotak dengan variasi campuran air tape ketan	68

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data pengujian untuk mendapatkan nilai debit dan kecepatan pada pipa bulat.....	44
Tabel 4.2	Perhitungan Reynolds Number pada pipa bulat.....	44
Tabel 4.3	Perhitungan koefisien gesek pada pipa bulat	45
Tabel 4.4	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa persegi.....	46
Tabel 4.5	Perhitungan Reynolds number pada pipa persegi	47
Tabel 4.6	Tabel Perhitungan koefisien gesek pada pipa persegi.....	47
Tabel 4.7	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa bulat	50
Tabel 4.8	Perhitungan Reynolds number pada pipa bulat.....	51
Tabel 4.9	Perhitungan koefisien gesek pada pipa bulat	51
Tabel 4.10	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa kotak	53
Tabel 4.11	Perhitungan Reynolds number pada pipa kotak.....	54
Tabel 4.12	Perhitungan koefisien gesek pada pipa kotak	54
Tabel 4.13	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa bulat	56
Tabel 4.14	Perhitungan Reynolds number pada pipa bulat.....	57
Tabel 4.15	Perhitungan Koefisien gesek pada pipa bulat	57
Tabel 4.16	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa persegi.....	59
Tabel 4.17	Perhitungan Reynolds number pada pipa persegi	60
Tabel 4.18	Pehitungan Koefisien gesek pada pipa pesegi	60
Tabel 4.19	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa bulat	62
Tabel 4.20	Perhitungan Reynolds number pada pipa bulat.....	63
Tabel 4.21	Perhitungan Koefisien gesek pada pipa bulat	63
Tabel 4.22	Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa persegi.....	65
Tabel 4.23	Perhitungan Reynolds number pada pipa pesegi	66
Tabel 4.24	Perhitungan Koefisien gesek pada pipa persegi.....	66
Tabel 4.25	Presentase Drag Reduction pada pipa bulat.....	69
Tabel 4.26	Presentase Drag Reduction pada pipa persegi	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Viscosity Air Murni Dengan variasi Temperatur	72
Lampiran 2	Grafik <i>Reynolds Number vs Friction</i> dengan variasi profil pipa .	73
Lampiran 3	Gambar Secondary Flow pipa persegi	74
Lampiran 4	Daftar Notasi	75



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan pipa sebagai transportasi fluida semakin banyak digunakan. Hal tersebut dikarenakan harganya murah dan dapat di instalasi dengan mudah. Seperti pipa pvc yang terpasang dalam instalasi rumah, pipa stainless untuk kondensor, pipa makanan dan lain sebagainya. Pipa memiliki berbagai macam bentuk penampang dan ukuran, antara lain : persegi panjang, segitiga, bulat dan lain sebagainya. Biasanya pipa berpenampang selain bulat banyak digunakan untuk penelitian-penelitian dan di industri. Sebagai contoh pipa berpenampang persegi sudah dimanfaatkan pada reaktor atom, regenerator turbin gas dan compact heat exchanger.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan pipa berpenampang persegi memiliki faktor gesek yang paling kecil mungkin penyebabnya adalah fenomena secondary flow tidak terjadi pada pipa tersebut.

Aliran fluida dalam pipa mengalami gesekan. Gesekan tersebut akan menimbulkan penurunan tekanan fluida di sepanjang pipa. Klasifikasi aliran ditentukan oleh bilangan Reynold dimana viskositas merupakan karakteristik yang penting. Untuk fluida Newtonian jenis alirannya dapat diklasifikasikan menjadi aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Karena aliran turbulen lebih sering terjadi maka perlu diperhatikan bahwa fenomena turbulen dapat menyebabkan penurunan tekanan yang drastis. Untuk koefisien gesek (f) dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek seperti kekasaran permukaan dalam pipa, diameter pipa dan juga besarnya bilangan reynold.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan, nilai koefisien gesek pada pipa berpenampang persegi lebih rendah. Namun pada rentang bilangan Reynolds tertentu, koefisien geseknya justru sama dan bahkan lebih tinggi dibanding dengan pipa berpenampang bulat.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang berbasis ilmu mekanika fluida pada tugas akhir ini :

1. Mencari perbedaan nilai koefisien gesek (f) pada pipa berpenampang persegi dan pipa berpenampang bulat pada rentang aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen.
2. Menambahkan polimer air tape ketan dan melihat perbedaan pressure drop yang terjadi di pipa berpenampang persegi dan pipa berpenampang bulat.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup dalam penulisan tugas akhir ini maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas. Untuk lebih mengkonsentrasikan materi dan pembahasan yang akan dilakukan maka batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Viskositas fluida disesuaikan dengan keadaan temperatur
2. Pipa uji yang digunakan adalah pipa acrylic berpenampang bulat dengan diameter 12mm dan penampang persegi dengan diameter 20mm
3. Fluida yang digunakan air murni dan fluida yang di campur polimer (air + konsentrasi air tape ketan)

1.5 Metode penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan beberapa metode, antara lain:

1. Konsultasi dan diskusi dengan dosen pembimbing
Menentukan tema skripsi, dasar teori yang dipakai, pembuatan alat dan mendiskusikan tentang data yang didapatkan pada pengujian.
2. Membuat alat uji di laboratorium.
Merancang, menentukan bahan yang akan digunakan, merangkai dan melakukan perobaan dengan mengalirkan fluida serta pastikan tidak ada kebocoran.

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara :

- a. Studi percobaan.
- b. Studi literatur dan internet yang berkaitan dengan tema yang dibahas.
- c. Melakukan diskusi dengan dosen pembimbing, asisten dosen dan mahasiswa lainnya.

4. Pengolahan data

Dengan menggunakan rumus perhitungan dari referensi, dilakukan perhitungan dan pengolahan data. Pengolahan data dibantu dengan bantuan software Microsoft Excel, setelah didapatkan hasil lalu dikonsultasikan ke dosen pembimbing untuk mendapatkan pengarahannya lebih lanjut.

5. Analisa data

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

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi fluida

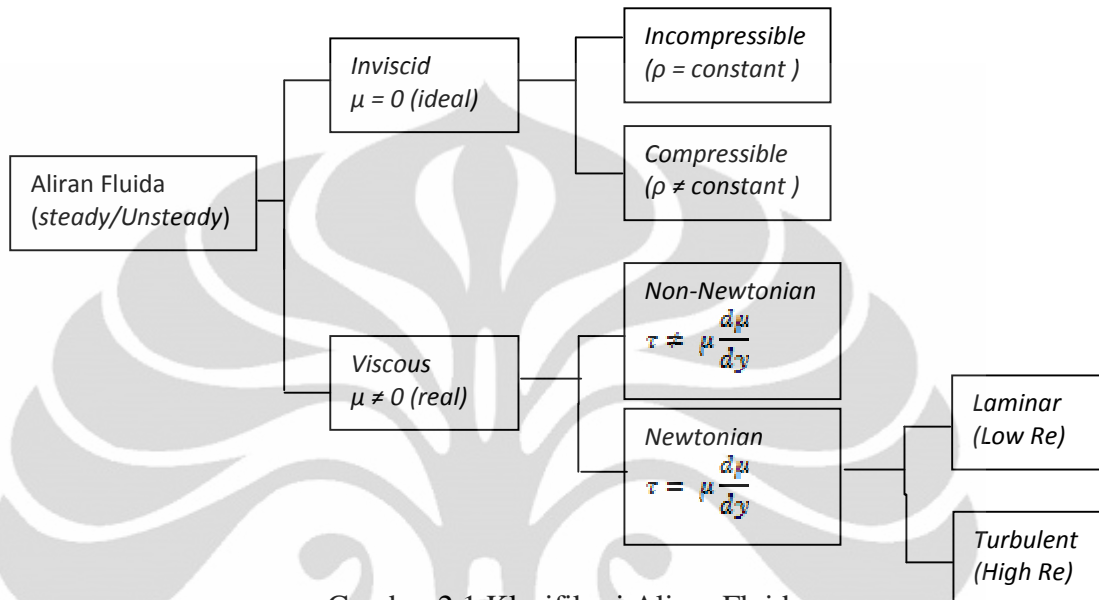
Fluida dapat didefinisikan sebagai zat yang terus-menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser. Fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Tetapi ada bahan yang menunjukkan karakteristik tersendiri seperti mayonise, cat, pasta gigi dan polimer.

Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan atau gas. Perbedaan pada fluida ini terletak pada sisi dapat dikompresi atau tidak atau dapat dikatakan compressible/incompressible. Pada fluida cair tergolong dalam incompressible (tidak dapat dimampatkan), sedangkan gas compressible (dapat di mampatkan). Fluida akan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas, sedangkan pada gas akan menyebar. Fluida akan selalu menempati wadah yang ditempatinya. Fluida memiliki sifat yang tidak menolak terhadap perubahan bentuk dan kemampuan untuk mengalir. Sifat fluida ini sebagai fungsi dari ketidakmampuan fluida terhadap tegangan geser (shear stress) dalam equilibrium (keseimbangan) statik.

2.2 Klasifikasi Aliran Fluida

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

Aliran fluida pada umumnya diklasifikasikan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Klasifikasi Aliran Fluida

Secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan dalam dua bagian yaitu fluida Newtonian dan fluida Non-Newtonian.

2.2.1 Fluida Newtonian

Fluida Newtonian adalah fluida yang koefisien viskositas dinamikanya bergantung pada temperatur dan tekanan namun tidak bergantung pada besar gradien kecepatan. Untuk fluida jenis ini grafik yang menghubungkan tegangan geser dan gradien kecepatan adalah sebuah garis lurus yang melau titik asal, dan condongnya (garis miringnya) menyatakan viskositas dinamik. Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva shear stress dan gradient kecepatan yang linier, seperti air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperatur.

Fluida mengikuti hukum Newton tentang aliran, yang dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots (2.1)$$

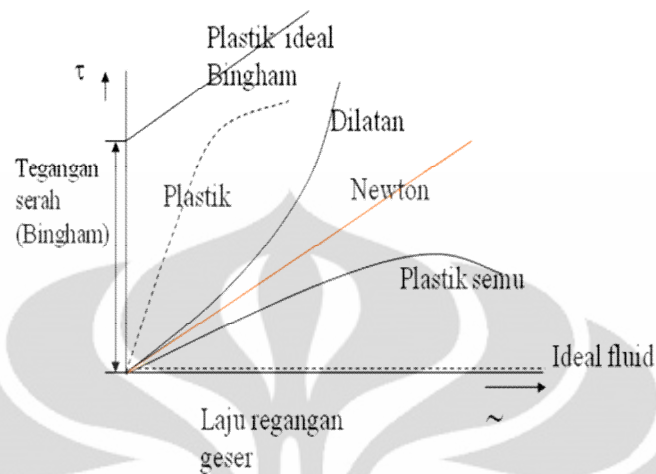
Dimana :

- τ = Tegangan geser pada fluida
- μ = Viskositas fluida
- $\frac{\partial u}{\partial y}$ = Gradient kecepatan fluida

Viskositas pada fluida Newtonian secara definisi hanya bergantung pada temperatur dan tekanan dan tidak tergantung pada gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Jika fluida bersifat incompressible maka viscositas bernilai tetap di seluruh bagian fluida. Keunikan dari fluida Newtonian adalah fluida ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Hal ini disebabkan karena viscositas dari suatu fluida Newtonian tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Viscositas dari suatu fluida Newtonian hanya bergantung pada temperatur dan tekanan. Viscositas sendiri merupakan suatu konstanta yang menghubungkan besar tegangan geser dan gradien kecepatan.

2.2.2 Fluida Non-Newtonian

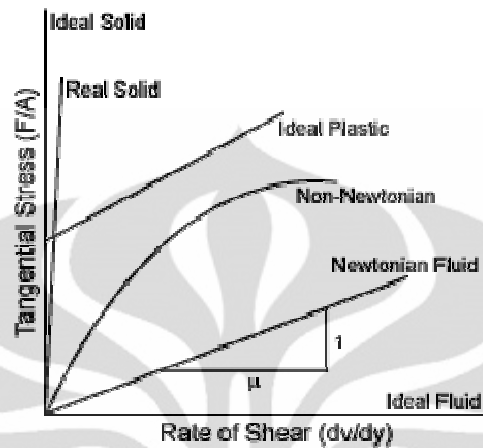
Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (shear stress), gradient kecepatan (shear rate), dan temperature seperti cat, minyak pelumas, darah, bubur kertas, obat-obatan cair, dll. Pada Fluida Non-Newtonian, viskositas fluida akan berubah bila terdapat gaya yang bekerja pada fluida seperti pada pengadukan. Viskositas fluida Non-Newtonian merupakan fungsi dari waktu dimana gradient kecepatannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran. Fluida Non-Newtonian Memiliki karakter tersendiri, perilaku viskosnya kompleks. Secara grafik fluida non-Newtonian tidak memiliki gambaran yang linear.



Gambar 2.2 Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-Newtonian

Sebuah fluida Newtonian didefinisikan sebagai fluida yang tegangan gesernya berbanding lurus secara linear dengan gradien kecepatan pada arah tegak lurus dengan bidang geser. Definisi ini memiliki arti bahwa fluida Newtonian akan mengalir terus tanpa dipengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Sebagai contoh : air dikarenakan memiliki properti fluida sekalipun pada keadaan diaduk. Sebaliknya bila fluida non-Newtonian diaduk, akan tersisa suatu “lubang”. Lubang ini akan terisi seiring berjalannya waktu. Sifat seperti ini dapat teramati pada material-material seperti puding. Peristiwa lain yang terjadi saat fluida non-Newtonian yang diaduk adalah penurunan viskositas yang menyebabkan fluida tampak lebih “tipis” Contohnya pada cat.

Ada banyak tipe fluida non-Newtonian yang kesemuanya memiliki properti tertentu yang berubah dalam keadaan tertentu.



Gambar 2.3 Variasi linear dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk beberapa jenis fluida. *Sumber: Munson, et al, 2002*

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

a) Bingham plastic

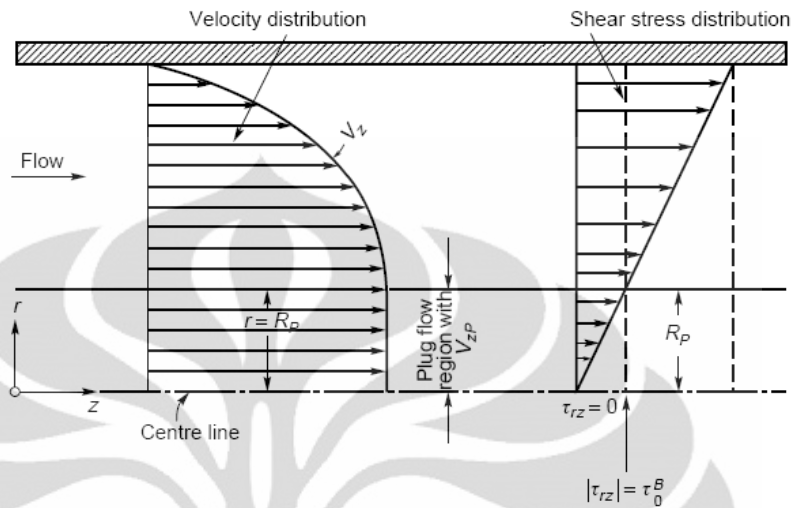
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya sangat bergantung pada shear stress dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$$\tau < \tau_y = \text{zat padat}$$

$$\tau > \tau_y = \text{fluida Newton}$$



Gambar 2.4 Distribusi Kecepatan *bingham plastic fluid* pada pipa

b) Pseudoplastic (plastic semu)

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

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < 1 \dots\dots\dots (2.3)$$

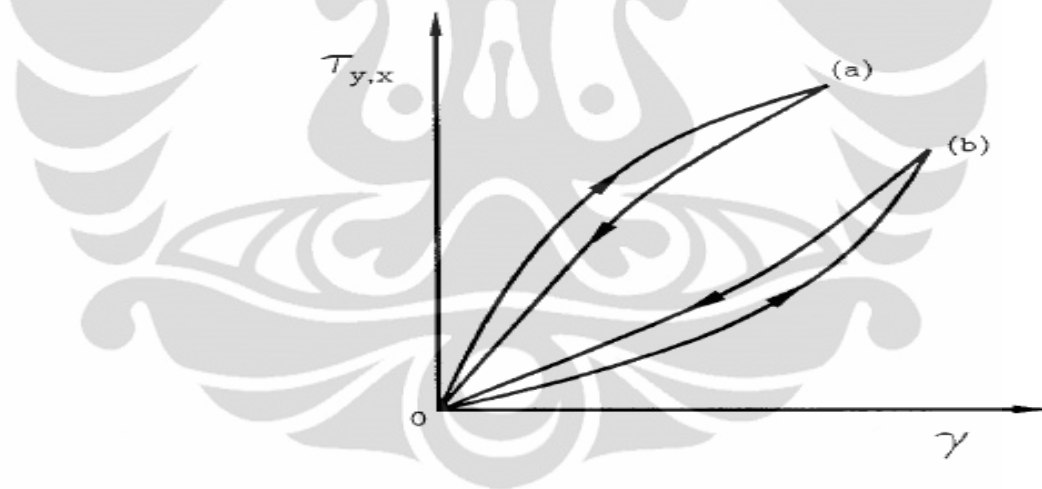
c) Dilatan

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

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

d) Penggolongan lain

- Thixotropic (shear thinning), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viskositasnya akan menurun, misalnya cat, campuran tanah liat (clay), dan berbagai jenis gel.
- Rheopectic (shear thickening), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin besar, misalnya minyak pelumas dimana viskositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang akan bekerja padanya maka viskositasnya akan bertambah.



Gambar 2.5 Hubungan shear stress (τ) - shear rate (γ) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu

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

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n = K (\gamma)^n \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

K = Indeks konsistensi

τ = Tegangan geser

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

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

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2.3 Power Law Index

Dari nilai tegangan geser (shear stress) dan laju aliran dari fluida tersebut maka power law index (n) dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = \frac{d \ln \frac{D\Delta P}{4L}}{d \ln \frac{8V}{D}}$$

atau

$$n = \frac{\text{Log} \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\text{Log} \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan mengetahui besar tegangan geser yang terjadi, profil kecepatannya, dan power law index (n) maka nilai K (η) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.5). jika nilai K sudah diketahui

maka Generalized Reynolds Number dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Re}^* = \frac{\rho_m D_h^n U^{2-n}}{\mu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana : $\mu = K 8^{n-1}$

Friction losses (f) dapat diketahui jika nilai tegangan geser, kecepatan aliran dan density fluida kerja sudah diketahui, maka digunakan persamaan fanning sebagai berikut :

$$f = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho_m V^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

2.3 Aliran Fluida

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

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh HGL.Hagen (1839) penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan sampai kira-kira 0,3 m/s. namun, diatas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kecepatan kuadrat kecepatan ($\Delta P \approx V^{1,75}$). Pada tahun 1883 Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan (ρ), kecepatan aliran (V), diameter (D), dan viscositas absolute (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan

fungsi dari faktor gesekan (λ) dan kekerasan relative dari dinding pada (ε/D) [4], jadi :

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right) \dots \dots \dots (2.11)$$

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

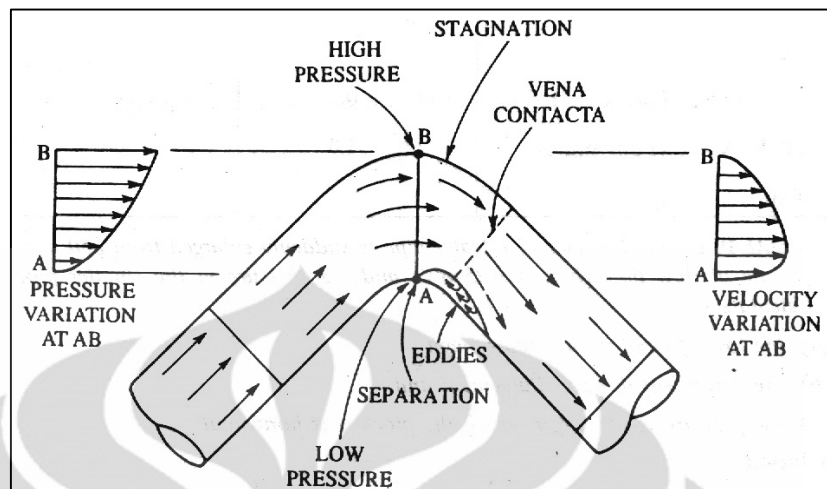
$$hf = \frac{\lambda L}{D(V^2 / 2g)} \dots \dots \dots (2.12)$$

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

$$\left[f_{Darcy} = 4 \times f_{fanning} \right] \dots \dots \dots (2.13)$$

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

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



Gambar 2.6 Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan

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

$$\xi = (\Delta h) / \left(\frac{v^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

2.4 Sifat-Sifat fluida

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain :

2.4.1 Densitas

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

a. Densitas massa

Densitas massa adalah perbandingan jumlah massa yang terkandung dengan jumlah volume. Dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana, ρ = densitas massa (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

b. Berat spesifik

Berat spesifik adalah nilai densitas massa dikalikan dengan gravitasi, dirumuskan dengan persamaan :

$$Y = \rho g \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana unit berat spesifik adalah N/m^3 dan dengan dimensi $ML^{-3}T^{-2}$ dengan nilai air adalah $9.82 \times 10^3 N/m^3$.

c. Densitas relatif

Densitas relatif disebut juga dengan *specific gravity* (s.g) yaitu perbandingan antara densitas massa atau berat spesifik dari suatu zat standar, dimana yang dianggap memiliki nilai zat standart adalah air pada temperatur $4^{\circ} C$. Densitas relatif ini tidak memiliki satuan.

2.4.2 Viskositas

Kekentalan (Viskositas) merupakan ukuran ketahanan suatu fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Newton mendalilkan bahwa tegangan geser dalam suatu fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan ruang yang normal terhadap aliran. Kekentalan diakibatkan oleh saling mempengaruhi antar molekul-molekul fluida. Viskositas menggambarkan penolakan dalam fluida dalam fluida kepada aliran dan dapat dijadikan sebagai sebuah cara untuk mengukur gesekan fluida.

Pada dasarnya viskositas disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal, misalnya temperatur, konsentrasi larutan, bentuk partikel, dan lain-lain. Viscositas dinyatakan dalam 2 bentuk, yaitu :

1. Viskositas dinamik (μ)

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besar nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor

seperti yang dijelaskan sebelumnya. Untuk viskositas dinamik air pada temperature lingkungan $T = 27^{\circ}\text{C}$ adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$.

2. Viskositas kinematik (ν)

Merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatannya (densitas) suatu massa. Viskositas ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperature standar $T = 27^{\circ}\text{C}$ adalah $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.17)$$

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

2.4.3 Bilangan Reynolds

Namanya diambil dari Osborne Reynold (1842-1912). Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ($v\rho$) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut pada kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen.

$$\text{Bilangan Reynolds, } Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} = \frac{4q}{\pi\mu D} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana, V = kecepatan rata-rata (m/s)

d = diameter dalam pipa (m)

ν = viskositas kinematik fluida (m^2/s)

ρ = densitas massa fluida (kg/m^3)

μ = viskositas dinamik ($\text{kg}/\text{m.s}$)

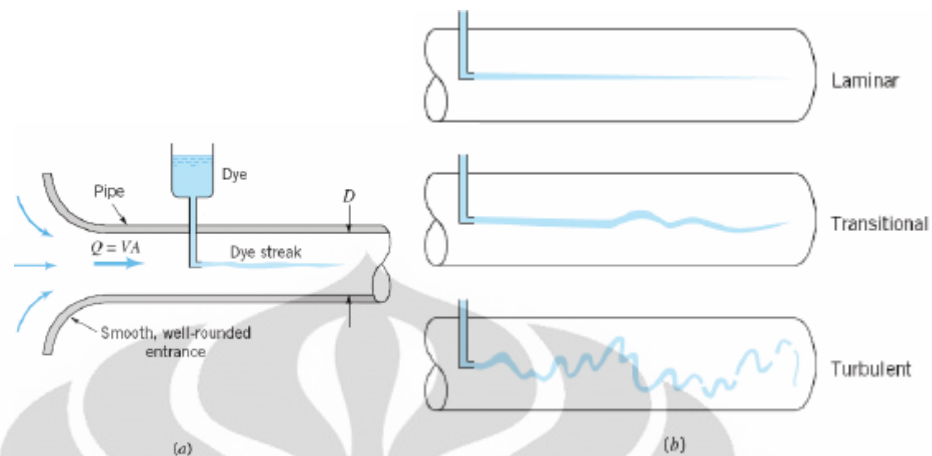
$$q = \text{debit (m}^3/\text{s)}$$

Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang berfungsi untuk menentukan bentuk aliran apakah aliran suatu fluida laminar atau turbulen serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynold menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian sehingga $Re < 2000$. Untuk instalasi pipa biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Re dari 2000-4000. Bilangan Re yang besar menunjukkan aliran yang sangat turbulen dengan kerugian yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Dalam aliran laminar kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan (lamina-lamina dalam suatu lapisan), meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan yang saling tukar menukar momentum secara molekular.

2.5 Sifat – Sifat Umum Aliran Pipa

2.5.1 Aliran laminar dan aliran turbulen

Aliran fluida di dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau aliran turbulen. Karakteristik kedua aliran tersebut berbeda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya. Osborn Reynolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dan mengklasifikasikan dua aliran ini dengan menggunakan peralatan sederhana, seperti pada gambar. Aliran laminar terjadi pada partikel-partikel (massa molar yang kecil) fluida bergerak pada lintasan-lintasan yang tidak teratur, yang mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian ke bagian lainnya. Turbulensi membangkitkan tegangan geser yang lebih besar di seluruh fluida dan mengakibatkan lebih banyak ketidakmampuan (ireversibilitas) atau kerugian.



Gambar 2.7 (a) Eksperimen untuk mengilustrasikan jenis aliran, (b) Guratan zat pewarna yang khas. *Sumber : Munson, et al., 2002*

Aliran laminar adalah aliran dimana tidak terjadinya pencampuran antara satu layer aliran dengan layer yang lain pada suatu fluida saat fluida tersebut dialirkan. Oleh karena itu, kecepatan aliran ini lambat sehingga kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dimana layer-layer batas aliran telah bercampur saat fluida tersebut mengalir. Kecepatan aliran ini lebih tinggi dari aliran laminar dimana kerugian yang ditimbulkan sebanding dengan kuadrat kecepatan.

Kecenderungan kearah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya viscos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan. Aliran laminar tidak stabil dalam situasi yang menyangkut gabungan viscositas yang rendah, kecepatan yang tinggi atau laluan aliran yang besar, serta berubah menjadi

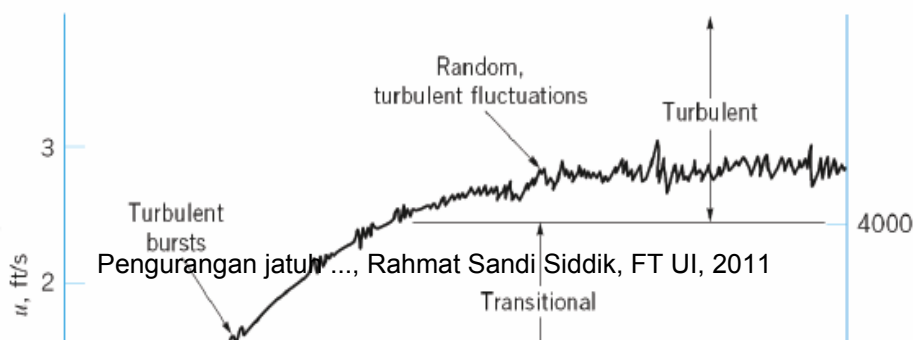
Universitas Indonesia

aliran turbulen. Sifat pokok aliran, yaitu laminar atau turbulen serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar di tunjukan oleh bilangan Reynolds.

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

2.5.2 Transisi dari Aliran Laminar menuju Aliran turbulen

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



Gambar 2.8 Transisi dari aliran Laminar menjadi Turbulen di dalam sebuah pipa.
Sumber: Munson, et al., 2002

Aliran sepanjang pipa mula-mula terisi fluida dalam keadaan diam, ketika katup dibuka untuk memulai aliran, kecepatan aliran, dan tentunya bilangan Reynolds meningkat dari nol (tidak ada aliran) sampai nilai maksimum alirannya tunak seperti pada gambar 2.3. Diasumsikan bahwa proses transien ini cukup lambat sehingga efek tak tunak dapat diabaikan. Selama periode awal, bilangan Reynolds cukup kecil untuk terjadinya aliran laminar. Setelah beberapa saat, bilangan Reynolds mencapai 2100 dan aliran memulai transisi-nya menuju kondisi turbulen. Letupan terputus-putus turbulensi (*burst of turbulence*) muncul. Dengan meningkatnya bilangan Reynolds seluruh aliran menjadi turbulen. Aliran tetap turbulen selama bilangan Reynolds melampaui kira-kira 4000.

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

Universitas Indonesia

21

2.5.3 Tekanan dan Tegangan Geser

Beda tekanan antara satu bagian pipa horizontal mendorong fluida mengalir melewati pipa. Efek viskos memberikan efek gaya penghambat antara

mengimbangi gaya tekan, jika efek viskos tidak ada dalam aliran, tekanan akan konstan di seluruh pipa. Dalam daerah aliran yang tidak berkembang penuh, seperti pada daerah masuk sebuah pipa, fluida mengalami percepatan atau perlambatan selagi mengalir (profil kecepatan berubah dari profil seragam pada bagian masuk pipa menjadi profil berkembang penuhnya pada ujung akhir daerah masuk), pada daerah masuk terdapat keseimbangan antara gaya-gaya tekanan, viskos dan inersia (percepatan). Hasilnya adalah distribusi tekanan sepanjang pipa horizontal seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4. Besarnya gradien tekanan, $p/\partial x$, lebih besar di daerah masuk daripada di daerah berkembang penuh, dimana gradien tersebut merupakan sebuah konstanta, $\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\Delta p}{l} < 0$. Sifat alamiah aliran pipa sangat tergantung apakah aliran tersebut laminar atau turbulen.

Gambar 2.9 Distribusi tekanan sepanjang pipa horizontal. Sumber: Munson, et al., 2002

2.6 Analisis Dimensional Aliran Pipa

2.6.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aliran dalam Pipa

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

- Viskositas, densitas, kecepatan aliran fluida.

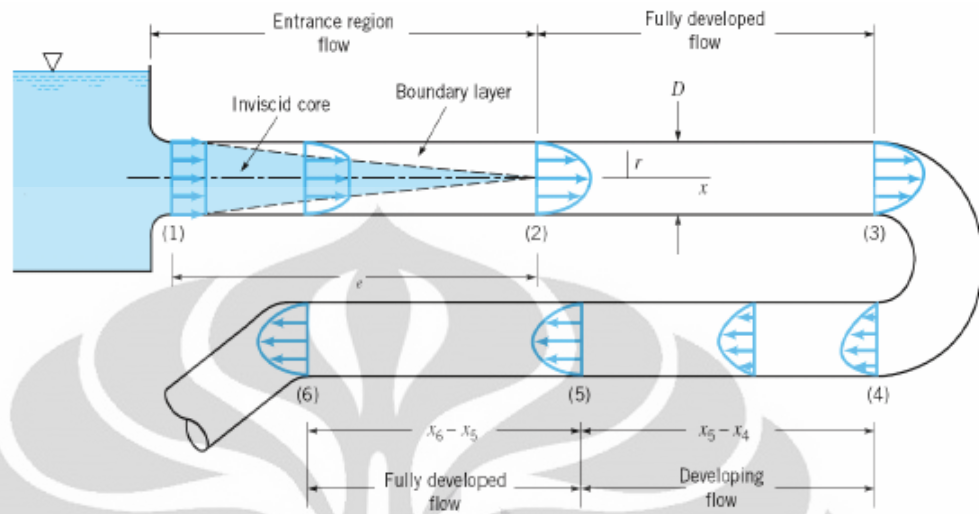
- Perubahan temperatur fluida yang mengubah viskositas dan densitas fluida.
- Panjang, diameter dalam, pengaruh aliran turbulen, dan kekasaran permukaan pipa.
- Posisi daripada suplai dan tempat masukan fluida yang dihubungkan dengan posisi pompa.
- Pengaruh struktur pipa misalnya dalam penambahan yang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

2.6.2 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh

Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*) dan diilustrasikan dalam gambar 2.8. 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 menyebabkan tetap menempel pada dinding pipa (kondisi lapisan batas tanpa-slip). Hal ini berlaku baik jika fluidanya adalah udara yang relatif inviscid ataupun minyak yang sangat viskos. Jadi, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) di mana efek viskos sangat penting timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa (x), sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), dimana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut x .

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

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



Gambar 2.10 Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh pada sistem pipa. Sumber: Munson, et al., 2002

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

$$l_e = 0,06 * Re * D \quad (\text{untuk aliran laminar}) \dots\dots\dots (2.19)$$

dan ,

$$l_e = 4,4 * Re^{1/6} * D \quad (\text{untuk aliran turbulen}) \dots\dots\dots (2.20)$$

Untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds sangat rendah panjang masuk dapat sangat pendek, ($l_e = 0,6 D$, jika $Re=10$), sementara untuk aliran-aliran dengan bilangan Reynolds besar daerah masuk tersebut dapat sepanjang berkali-kali diameter pipa sebelum ujung akhir dari daerah masuk dicapai, ($l_e = 120 D$ untuk $Re=2000$). Untuk banyak masalah-masalah teknis praktis $10^4 < Re < 10^5$ sehingga $20D < l_e < 30D$.

Aliran antara (2) dan (3) disebut berkembang penuh (*fully developed*). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh pada bagian (4), aliran secara

bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuh (5) dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai (6).

2.6.3 Koefisien Gerak

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

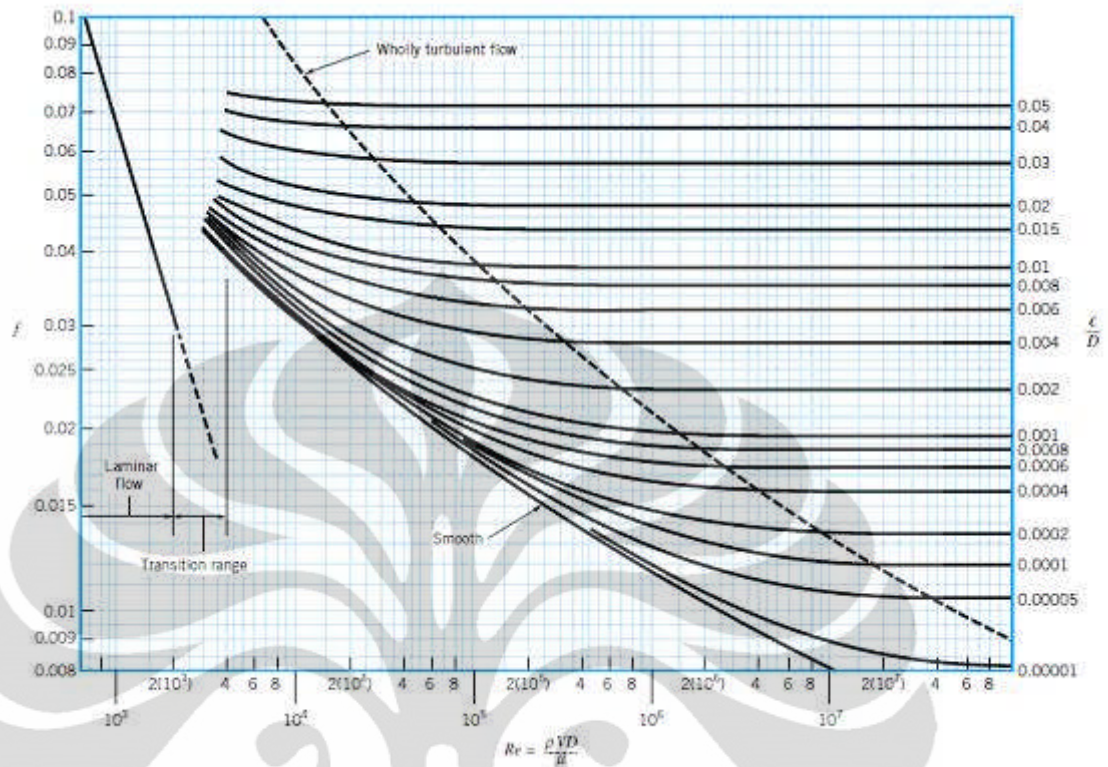
$$\Delta p = F(V, D, L, \epsilon, \pi, \rho) \dots \dots \dots (2.21)$$

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

$$h_L = \lambda \frac{l U^2}{d 2g} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana : λ = nilai koefisien gesek.

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



Gambar 2.11 Faktor gesek sebagai fungsi Bilangan Reynolds dan hubungan kekasaran pada pipa bulat. Diagram Moody. *Sumber: Fundamentals of Fluid Mechanics-Munson; Young; Okiishi*

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

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

Pada $Re > 4000$ aliran menjadi turbulen dan nilai λ merupakan fungsi dari Re dan kekasaran relatif (e/D). Blasius, yang untuk pertama kali mengkolerasikan eksperimen-eksperimen pipa licin dalam aliran turbulen, menyajikan hasil-hasil dengan suatu rumus empirik yang berlaku sampai kurang lebih $Re = 100000$. Rumus Blasius tersebut adalah :

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{-0.25}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Pada nilai Re yang sangat tinggi, λ 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 Reynolds, viskositas, gradien tekanan dan kekasaran permukaan. Sedangkan untuk menentukan tebal lapisan batas dipengaruhi oleh panjang pipa, viskositas, kecepatan aliran dan kekasaran permukaan.

2.6.4 Persamaan-persamaan Gerak untuk Fluida Viskos

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

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

Arah sumbu x:

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

.....(2.25)

Arah sumbu y :

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

.....(2.26)

Arah sumbu z :

$$\rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \left[\frac{\partial w}{\partial x} \right] + v \left[\frac{\partial w}{\partial y} \right] + w \left[\frac{\partial w}{\partial z} \right] \right] = - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \dots \dots \dots (2.27)$$

Dalam sistem koordinat pola silinder (r, θ, z), persamaan Navier-Stokes menjadi :

Arah sumbu r :

$$\rho \left[\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right] = - \frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] \dots \dots \dots (2.28)$$

Arah sumbu θ :

$$\rho \left[\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right] = - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] \dots \dots \dots (2.29)$$

Arah sumbu z :

$$\rho \left[\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] = - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] \dots \dots \dots (2.30)$$

Pemecahan persamaan-persamaan Navier-Stokes tidak linear secara eksak baru tersedia untuk beberapa kasus saja. Ini terutama untuk aliran-aliran yang steady atau seragam yang berdimensi dua atau memiliki simetri radial, dan untuk aliran-aliran dengan geometri yang sangat sederhana. Persamaan-persamaan

Navier-Stokes untuk aliran steady tak mampu memprediksi mempunyai empat unsur yang belum diketahui yaitu komponen-komponen kecepatan dan tekanan.

2.6.5 Kerugian Minor

Sebuah perbesaran mendadak adalah satu dari sedikit komponen dimana koefisien kerugian dapat diperoleh dengan sebuah analisis yang sederhana. Untuk melakukan hal ini diberikan persamaan-persamaan kontinuitas dan momentum untuk volume pengatur seperti yang ditunjukkan gambar dan persamaan energi yang diterapkan antara (2) dan (3). Diasumsikan bahwa aliran adalah seragam pada bagian (1), (2), dan (3) dan tekanan konstan di sisi kiri dari volume pengatur ($p_a=p_b=p_c=p_1$). Tiga persamaan yang dihasilkan (massa, momentum, dan energi) adalah :

$$A_1V_1 = A_3V_3 \dots\dots\dots(2.31)$$

$$P_1A_3 - P_3A_3 = \rho A_3V_3(V_3-V_1) \dots\dots\dots (2.32)$$

Dan,

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.33)$$

Ketiga persamaan ini dapat diatur kembali sehingga memberikan koefisien kerugian, sebagai :

$$\lambda = \frac{2g \rho \Delta h}{\rho U^2} \dots\dots\dots (2.34)$$

di mana : λ = koefisien kerugian

2.7 Persamaan Fluida

2.7.1 Laju Aliran Volume

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

$$Q = A V \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana : V = Kecepatan aliran [m/s]

A = Luas penampang pipa [m²]

Q = Debit aliran [m³/s]

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

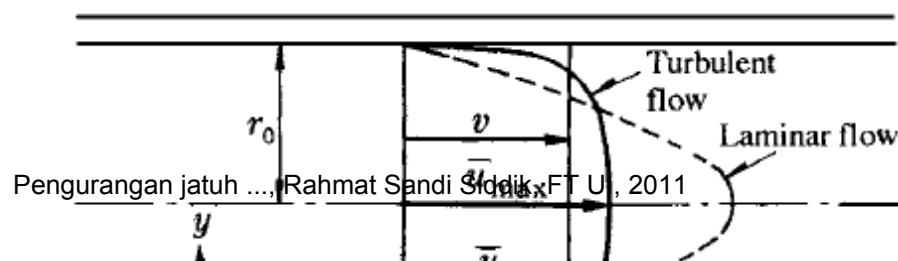
v = Volume aliran [m³]

Q = Debit aliran [m³/s]

t = waktu aliran [s]

2.7.2 Distribusi Kecepatan

Distribusi kecepatan adalah distribusi aliran dalam pipa antara jarak aliran terhadap permukaan pipa. Distribusi aliran ini berbeda antara aliran laminar dan aliran turbulent. Distribusi aliran digunakan untuk melihat profil aliran kecepatan dalam pipa.



Gambar 2.12 Distribusi Kecepatan *laminar dan turbulent* pada pipa bulat

Untuk aliran laminar maka berlaku persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} v_c \dots\dots\dots (2.21)$$

$$v = v_c \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = v_c \left(1 - \frac{(R - y)^2}{R^2} \right) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

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

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

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

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

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

R = Jari-jari pipa [m]

Untuk aliran turbulente, rasio distribusi kecepatannya antara kecepatan di titik y , u_y , dengan kecepatan maksimum pada sumbu, u_m adalah :

$$v = v_c \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

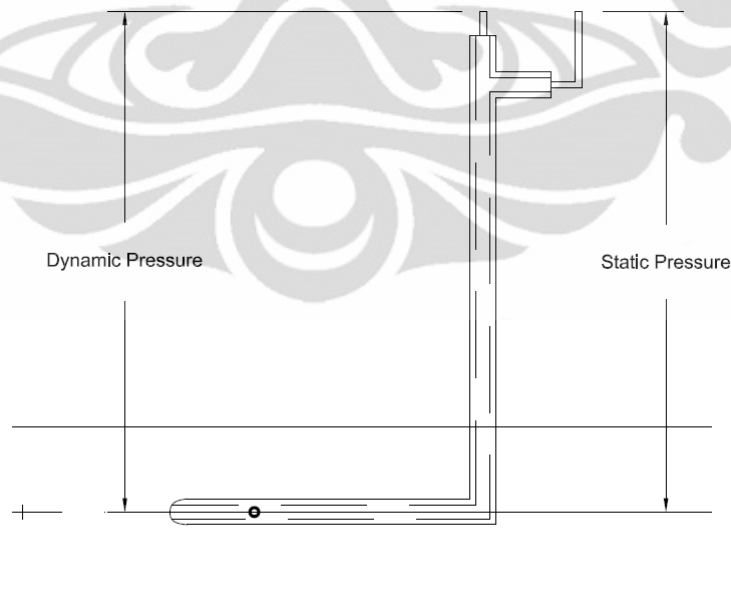
v_c = Kecepatan aliran pada pusat pipa atau kecepatan maksimum [m/s]

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

Universitas Indonesia

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

R = Jari-jari pipa [m]



Gambar 2.13 Pengukuran perbedaan tekanan pada pitot tube

Untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran pada pipa spiral lengkung pada setiap titik kedudukannya dengan menggunakan pitot tube dimana perbedaan tekanan antara static dan dinamik didapat dengan

mengukur perbedaan ketinggian kemudian dengan menggunakan persamaan :

$$P_{dynamic} - P_{static} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\rho g \Delta h = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$v = \sqrt{2g\Delta h} \dots\dots\dots (2.24)$$

Universitas Indonesia

BAB III

PEMBUATAN ALAT UJI DAN METODE PENELITIAN

3.1 Pembuatan alat uji

Pengujian dilakukan dengan melakukan percobaan pada pipa acrylic berpenampang persegi dengan aspek rasio 1 yang di paralel dengan pipa acrylic berpenampang bulat dengan diameter 12mm. Aliran fluida berasal dari sebuah tangki dengan ketinggian sejajar dengan lantai. Fluida ini dialirkan oleh sebuah pompa sentrifugal, Pipa-pipa pvc dirangkai lalu dihubungkan dengan pipa acrylic bulat dan pipa berpenampang persegi kemudian 4 buah katup yang berfungsi untuk mengatur debit aliran fluida, katup tersebut di letakan pada keluaran pompa, sebelum pipa bulat dan pipa berpenampang persegi dan 1 buah katup bypass. Diharapkan dengan rancangan seperti ini didapatkan berbagai aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen.

Komponen-komponen yang digunakan untuk pembuatan alat uji ini adalah sebagai berikut :

1. Sebuah tangki penampungan (reservoir)
2. Besi siku berlubang sebagai kerangka dari alat uji
3. 1buah pompa sentrifugal, dengan spesifikasi :

- a. Model : DB 125 A
 - b. Output : 125 W
 - c. Max. Capacity : 42 liter permenit
 - d. Suction head : 9 meter
 - e. Total head : 33 meter
 - f. Motor : 2850 Rpm
 - g. Frekuensi : 50 Hertz/ 220 v
 - h. Pipa : 1 inch x 1 inch
4. 4 Buah katup yang dirangkai dengan pipa pvc

- 5. 4 Buah fitting connection untuk menghubungkan pipa pvc berpenampang bulat dengan arcrilic berpenampang kotak.
- 6. 8 buah fitting elbow 90^0 (1/2 inch)
- 7. 2 buah fitting T (1/2 inch)
- 8. 4 buah selang manometer, untuk mengukur beda pressure drop
- 9. 3 buah busur derajat, untuk mengatur perubahan katup dan debit yang terjadi
- 10. Pipa pvc (1/2 inch)
- 11. Pipa arcrylic bulat diameter 12mm
- 12. Pipa acrylic berpenampang kotak ($D_h = 20$ mm)

Peralatan yang digunakan meliputi :

- 1. Gergaji
- 2. Bor dan mata bor ukuran 2mm
- 3. Obeng
- 4. Cutter
- 5. Gunting
- 6. Kunci pas 12mm
- 7. Tang

3.2 Ruang Lingkup Pengujian

Ruang Lingkup Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengukuran *Pressure drop* dari suatu fluida cair yang berhubungan dengan head tekanan dari suatu aliran. Debit aliran fluida yang masuk ke pipa pengujian diatur oleh bukaan katup yang mempunyai kisaran dari minimum sampai maksimum.

Pengujian dilakukan bergantian yaitu ketika dilakukan pengujian pada pipa bulat maka pipa berpenampang persegi katupnya ditutup dan sebaliknya. Pengujian dilakukan dengan cara mengatur bukaan katup dan menurunkan derajat bukaan katup dengan interval 10^0 hingga didapatkan tingkat terkecil dari tinggi air yang masuk ke dalam selang ukur, sehingga datanya bisa di ambil. Perbedaan tinggi air yang masuk kedalam selang ukur ini dapat kita sebut dengan rugi tekan (*pressure drop*) yang terjadi di dalam pipa tersebut. Pada setiap bukaan katup yang

Universitas Indonesia

35

kita atur kita dapatkan data berupa : beda ketinggian pada manometer, volume, massa fluida, dan lamanya waktu pengukuran setiap titik pengujiannya serta temperatur fluida kerja.

Fluida yang pertama diuji adalah air dan selanjutnya air yang ditambahkan dengan air tape ketan dengan variasi perbandingan campuran yaitu 1 liter air dengan 10gr, 20gr, 30gr air tape ketan atau dengan kata lain 10ppm, 20ppm, 30ppm.

3.3 Lokasi Pengujian

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

3.4 Susunan Alat

Susunan alat pengujian dapat dilihat pada skema 2 dimensi pada lampiran gambar. Untuk lebih jelasnya gambar susunan alat dalam bentuk 3 dimensi yaitu dengan bantuan software Auto Cad dapat dilihat pada lampiran gambar.

3.5 Persiapan Pengujian

Persiapan yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah

- Menyiapkan tempat untuk ruang pengujian, pembuatan rangka untuk alat pengujian
- Menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan dan alat-alat perkakas
- Menyiapkan gelas ukur, thermometer dan timbangan digital
- Membuat rangkaian alat pengujian dengan menggunakan 2 pipa *acrylic* (profil bulat $D=0,012m$ dan persegi $D_h=0,02m$) sebagai pipa uji dengan dimensi , pompa, katup, selang, pipa PVC, dan tangki penampung sehingga membentuk suatu sistem sirkulasi dimana air bisa disirkulasikan tanpa mengalami kebocoran
- Membuat lubang dengan diameter 2 mm sebagai *pressure tap* pada pipa penguji, total yaitu 4 lubang, masing-masing 2 buah untuk pipa bulat dan 2

Universitas Indonesia

36

buah untuk pipa persegi dan selanjutnya akan dipasangkan selang sebagai alat ukur ketinggian air.

- Isi tangki dengan fluida yang diinginkan

3.6 Pengujian

Pengujian diawali dengan memastikan sirkulasi air tidak ada yang bocor

1. Pengujian dengan menggunakan pipa *Acrylic* profil bulat ($D=0,012m$) dan profil persegi ($D_h=0,02$)
2. Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan air murni dan yang kedua dengan variasi campuran air dengan tape ketan (10ppm, 20ppm, 30ppm)
3. Pengujian pertama dilakukan pada pipa bulat, sehingga pipa persegi harus ditutup. Tutup katup bulat secara perlahan dengan interval 10^0 sehingga didapatkan volume atau massa, perbedaan tinggi air (pressure drop) dan waktu (lamanya pengujian di setiap titik).

3.6.1 Tahap Pengujian

Pada penelitian ini terdapat 2 pengujian yang dilakukan, yaitu :

1. Pengujian dengan air
2. Pengujian air + air tape ketan (10 ppm, 20 ppm, 30 ppm)

3.6.1.1 Pengujian I

Tahap pengujian yang dilakukan pada saat pengambilan data yaitu sebagai berikut :

1. Memasukkan fluida (air) ke dalam tangki penampungan
2. Menghidupkan pompa, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran
3. Tahap pengambilan data:
 - Mengatur bukaan katup,

Universitas Indonesia

37

Menampung fluida yang keluar dari pipa pengujian dengan gelas ukur dan mencatat waktunya, kemudian fluida yang telah ditampung diukur misalnya dengan menggunakan timbangan digital.

- Menghitung selisih tinggi *head* yang terjadi pada manometer lurus,
- Mengukur temperatur pada setiap pengujian
- Mengulangi pengambilan data dengan mengatur bukaan katup dari minimal sampai maksimal
- Untuk pengambilan data berikutnya adalah mengalirkan fluida ke pipa dan mengecilkan bukaan katup, proses pengambil secara berkala hingga didapat data terkecilnya atau dengan kata lain perbedaan tinggi head air masih dapat dilihat dan data dapat diambil.

Pengujian dilakukan berulang untuk mendapat hasil yang akurat dan benar, kerja alat penguji selalu di cek agar sirkulasi aliran tetap stabil dan penyimpangan tidak terjadi lagi. Nilai Re diukur dari debit yang keluar setelah melewati pipa dan manometer, ditimbang dalam periode waktu untuk mendapatkan kecepatan rata-rata dari pada aliran fluida. Temperatur fluida dicatat pada setiap titik pengujiannya.

3.6.1.2 Pengujian II

Pada tahap pengujian kedua ini, yang dilakukan adalah pencampuran antara fluida air dan air tape ketan dengan variasi 10ppm, 20ppm, 30ppm. Tahap pengujiannya adalah sebagai berikut :

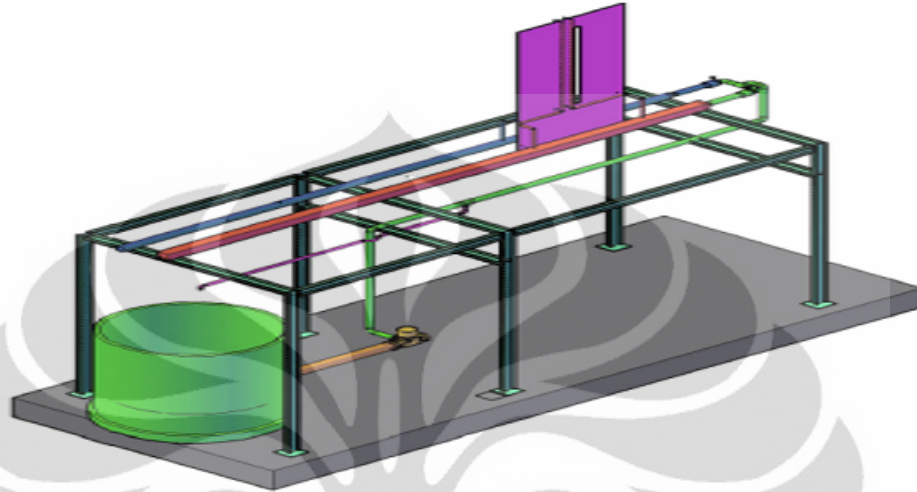
1. Memasukkan fluida (air+air tape ketan) ke dalam tangki penampungan,
 2. Menghidupkan pompa, sehingga fluida dapat mengalir melalui pipa dan terjadi sirkulasi aliran,
 3. Tahap pengambilan data :
 - a. Mengatur bukaan katup dan aliran fluida diatur pada kecepatan tertentu,
 - b. Aliran dibiarkan beberapa saat hingga stabil, keadaan ini terlihat pada selisih *head* (Δh) tetap,
 - c. Menampung fluida yang keluar dari pipa pengujian dengan gelas ukur dan mencatat waktunya, kemudian fluida yang telah
- Universitas Indonesia
- 38
- d. ditampung diukur massanya dengan menggunakan timbangan digital,
 - d. Ukur temperatur awal dan temperatur akhir fluida
 - e. Mengulangi pengambilan data dengan mengatur bukaan katup dan minimal sampai maksimal, dan mengambil data massa fluida yang keluar dan mencatat waktunya.
 - f. Pengambilan data yang dilakukan dimulai dari aliran dengan bilangan Reynolds kecil (laminar) sampai dengan bilangan Reynolds besar (turbulen),

Pengujian dilakukan berulang untuk mendapatkan hasil yang akurat dan benar, kerja alat penguji selalu di cek agar sirkulasi aliran tetap stabil dan penyimpangan ini tidak terjadi lagi. Temperatur fluida dapat di ukur pada awal dan akhir sirkulasi. Pengujian dilakukan dengan melihat perbedaan tekanan.

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

3.7 Rangka Uji

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



Gambar 3.1 Rangka Alat Uji

Universitas Indonesia

39

3.8 Pompa Sentrifugal

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



Gambar 3.2. Pompa Sentrifugal

3.9 Manometer

Manometer digunakan sebagai alat ukur ketinggian dengan cara mengukur beda ketinggian pada pipa pengujian, manometer dibuat dari selang elastis transparan dengan diameter dalam sebesar 4 mm dan dipasang dengan melubangi pipa. Manometer dibuat sebanyak 4 lubang dengan jarak masing-masing Untuk pipa bulat 1,24 m dan untuk pipa berpenampang persegi jarak antar lubang adalah 1 m dilekatkan pada pipa uji yang telah dilubangi dengan ukuran 2 mm.

3.10 Peralatan pendukung

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

a) Gelas ukur

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

Universitas Indonesia

40



Gambar 3.3 Gelas Ukur

b) *Stopwatch*

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



Gambar 3.4 *Stopwatch*

c) Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur awal dan akhir fluida selama pengujian. Hal ini diperlukan karena temperatur sangat berpengaruh terhadap viskositas fluida.

Universitas Indonesia

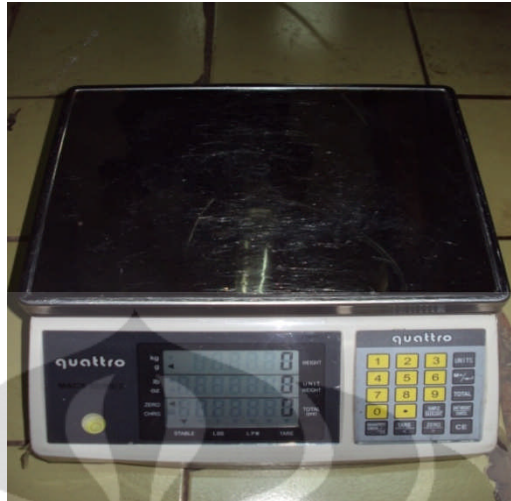
41



Gambar 3.5 Termometer

d) Timbangan digital

Timbangan digital yang digunakan untuk penelitian ini adalah timbangan digital dengan beban maksimum 5 kg. Timbangan berfungsi untuk mengukur massa fluida selama waktu tertentu untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida.



Gambar 3.6 Timbangan Digital

Universitas Indonesia

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Perhitungan Data

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data berupa temperatur fluida pada saat pengujian, perbedaan tekanan (head), massa dan waktu yang diperlukan untuk menampung fluida pada volume tertentu. Data temperatur fluida pada saat pengujian digunakan untuk menentukan sifat-sifat dari fluida, yaitu antara lain nilai massa jenis fluida (ρ) dan viskositas kinematik (ν) yang digunakan bersama dengan data massa fluida yang ditampung selama waktu tertentu untuk mencari kecepatan fluida dan reynolds number. Sedangkan data perbedaan head tekanan digunakan untuk mencari nilai koefisien gesek (λ). Bilangan Reynolds dan koefisien gesek dari setiap aliran yang diambil datanya kemudian diplot kedalam diagram *Moody*.

Asumsi yang digunakan untuk memperoleh data dan mempermudah perhitungannya, antara lain :

1. Fluida yang dipakai incompressible
2. Aliran steady dan berkembang penuh
3. Tidak ada gelembung udara yang terjebak dalam pipa manometer
4. Tidak terdapat kebocoran pada sistem sirkulasi terutama pada instalasi pengujian
5. Perubahan tekanan udara luar diabaikan

4.2 Pengujian I

Fluida yang digunakan untuk pengujian adalah air murni.

4.2.1 Contoh perhitungan pada pengujian I

Pada pengujian pertama ini untuk mendapatkan bilangan Reynolds (Re) digunakan rumus pipa berpenampang lingkaran dan faktor koefisien gesek (λ) didapatkan dengan menggunakan persamaan *darcys-weisbach*.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian I dengan Katup Bulat :

- Diameter pipa (d) = 0,012 m
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 5,42 detik
- Volume (m^3) = 0,00031
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,058 m
- Massa jenis ($T = 28^\circ C$) = 996,19 kg/m^3
- Viskositas dynamic fluida ($T = 28^\circ C$) = 0,00083249 m^2/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m^2/s

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,00031}{5,42} = 0,00006 \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,00006}{0,0001} = 0,51 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

Universitas Indonesia

44

Waktu (s)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
5,42	0,00031	0,00006	0,51
5,95	0,00085	0,00014	1,26
5,73	0,00115	0,00020	1,78
5,80	0,00152	0,00026	2,32
5,75	0,00182	0,00032	2,80
5,70	0,00212	0,00037	3,29
5,70	0,00247	0,00043	3,83
5,90	0,00292	0,00049	4,38

Tabel 4.1 Data pengujian untuk mendapatkan nilai debit dan kecepatan pada pipa bulat

2. Untuk menghitung Reynolds number

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{996,19 \times 0,012 \times 0,51}{0,00083249} = 7266$$

Tipe aliran yang terjadi adalah turbulen.

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
28	996,19	0,00083249	0,51	7266
28	996,19	0,00083249	1,26	18147
28	996,19	0,00083249	1,78	25495
28,5	996,05	0,00082347	2,32	33651
28,5	996,05	0,00082347	2,80	40643
29	995,9	0,00081462	3,29	48269
29	995,9	0,00081462	3,83	56238
29	995,9	0,00081462	4,38	64230

Tabel 4.2 Perhitungan Reynolds Number pada pipa bulat

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,012)(0,058)}{(1)(0,51)^2} = 0,0430$$

Universitas Indonesia

45

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,058	0,51	1,24	0,0430
0,252	1,26	1,24	0,0300
0,445	1,78	1,24	0,0268
0,695	2,32	1,24	0,0246
0,955	2,80	1,24	0,0231
1,247	3,29	1,24	0,0219
1,710	3,83	1,24	0,0221
2,250	4,38	1,24	0,0223

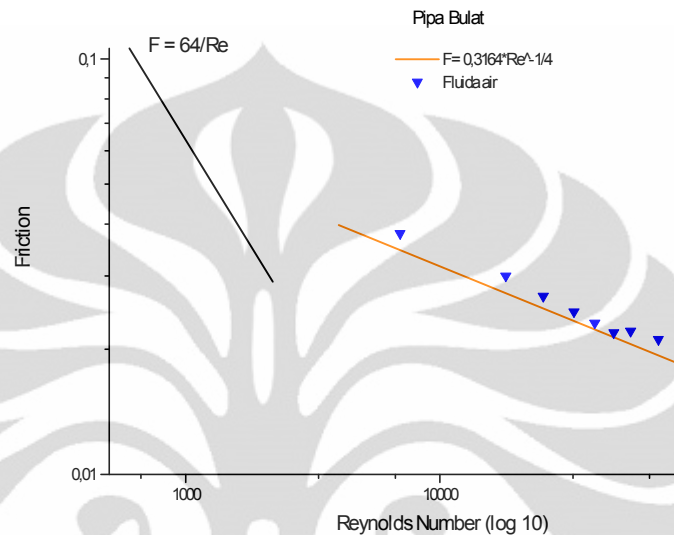
Tabel 4.3 Perhitungan koefisien gesek pada pipa bulat

4. Menghitung Friction Blasius

Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (7266)^{-\frac{1}{4}} = 0,0343$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam grafik



Grafik 4.1 Fluida air pada pipa bulat

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian I dengan Katup Kotak :

- Diameter pipa (d) = 0,02 m
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 5,4 detik

Universitas Indonesia

46

- Volume (m³) = 0,0004
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,0074
- Massa jenis (T = 28 °C) = 996,19 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida (T = 28 °C) = 0,00083249 m²/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m²/s

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,0003}{5,4} = 0,00008$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa pengujian dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,00008}{0,000314} = 0,26 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = massa fluida (kg)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

t = waktu fluida yang ditampung (s)

d = diameter pipa (m)

Waktu (s)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
5,4	0,0004	0,00008	0,26
5,2	0,0009	0,00018	0,58
5,05	0,0016	0,00032	1,01
5,22	0,0021	0,00040	1,28
5,3	0,0026	0,00049	1,56
5,9	0,0034	0,00058	1,84
5,9	0,0039	0,00066	2,11
5,9	0,0050	0,00085	2,70

Tabel 4.4 Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa persegi

Universitas Indonesia

47

2. Untuk menghitung *Reynolds number*

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{996,19 \times 0,02 \times 0,26}{0,00083249} = 6210$$

Tipe aliran yang terjadi adalah turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re

28	996,19	0,00083249	0,26	6210
28	996,19	0,00083249	0,58	13778
28	996,19	0,00083249	1,01	24149
28,5	996,05	0,00082347	1,28	30994
28,5	996,05	0,00082347	1,56	37795
29	995,9	0,00081462	1,84	44873
29	995,9	0,00081462	2,11	51472
29	995,9	0,00081462	2,70	65990

Tabel 4.5 Perhitungan Reynolds number pada pipa persegi

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,02)(0,0074)}{(1)(0,26)^2} = 0,043$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,0074	0,26	1	0,043
0,03	0,58	1	0,036
0,076	1,01	1	0,029
0,13	1,28	1	0,031
0,16	1,56	1	0,026
0,199	1,84	1	0,023
0,247	2,11	1	0,022
0,386	2,70	1	0,021

Tabel 4.6 Tabel Perhitungan koefisien gesek pada pipa persegi

4 Menghitung Friction Blasius

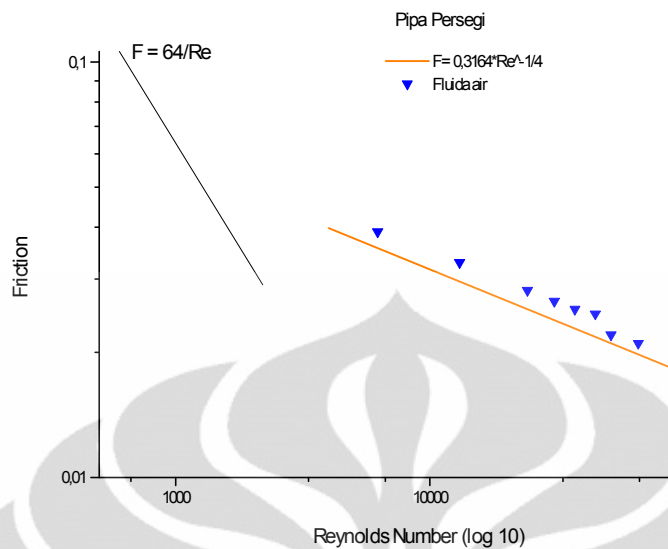
Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

Universitas Indonesia

48

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (6210)^{-\frac{1}{4}} = 0,038$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam diagram.



Grafik 4.2 Fluida air pada pipa persegi

4.2.2 Analisa Hasil Pengujian I

Apabila kita amati dari kedua grafik yang didapatkan antara pipa bulat dengan pipa berpenampang persegi, data aliran yang didapatkan menunjukkan bahwa aliran yang terjadi berupa aliran turbulen,

Jika dilihat dari friksi yang terjadi antar pipa bulat lebih tinggi daripada pipa berpenampang persegi. *Pressure drop* pada pipa berpenampang persegi lebih rendah daripada pipa yang berpenampang bulat.

Pada saat kecepatan aliran bertambah itulah yang menyebabkan aliran turbulen, bilangan Reynolds meningkat, akan terlihat penurunan koefisien gesek pada grafik, hal ini diakibatkan terbentuknya sub lapisan viskos pada daerah turbulen berkembang penuh sehingga kerugian geseknya semakin menurun.

Pada grafik terlihat bahwa aliran turbulen dari data yang didapatkan terletak diatas garis Blasius ($\lambda = 0,3164 \text{ Re}^{-1/4}$) hal ini menunjukkan bahwa aliran yang terjadi telah sesuai dengan persamaan-persamaan aliran fluida.

4.3 Pengujian II

Pada pengujian kedua fluida yang digunakan adalah pencampuran dengan variasi komposisi pencampurnya yaitu sebagai berikut :

1. 1 Liter air + 10gram air tape ketan (10 ppm)
2. 1 Liter air + 20gram air tape ketan (20 ppm)
3. 1 Liter air + 30gram air tape ketan (30 ppm)

Penelitian tetap dilakukan pada pipa *acrylic* bulat berdiameter 12mm dan pipa berpenampang persegi ($D_h = 20\text{mm}$). Dengan cara mengatur bukaan katup maka kita bisa dapatkan variasi kecepatan yang terjadi maka akan didapatkan variasi bilangan Reynolds pula, dan gesekan yang terjadi dapat kita hitung dengan persamaan-persamaan fluida.

Pada pengujian kedua ini lebih ingin melihat perbedaan apabila fluida air ini ditambahkan dengan air tape ketan dengan perbandingan tertentu. Akan dilihat perbedaannya baik pada *pressure dropnya* dan *friction* yang terjadi.

4.3.1 Contoh perhitungan pada pengujian II

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian II dengan pipa *acrylic* bulat (10 ppm) :

- Diameter pipa (d) = 12mm = 0,012m
- Massa air yang ditampung (m) = 140 g = 0,149 kg
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 3,09 detik
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,030 m
- Massa jenis ($T = 29^\circ\text{C}$) = 981 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida ($T = 29^\circ\text{C}$) = 0,000440 m²/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m²/s

$$\text{Menghitung Volume} = \frac{m}{\rho} = \frac{0,149}{981} = 0,000152 \text{ m}^3$$

Universitas Indonesia

50

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,000152}{3,39} = 0,00005 \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,00005}{0,0001} = 0,43 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

atau dengan cara :

$$U = \frac{4 \cdot m}{\rho \cdot t \cdot \pi d^2} = \frac{4 \times 0,149}{981 \times 3,39 \times \frac{22}{7} \times 0,0120^2} = 0,43 \text{ m/s}$$

Waktu (s)	Masa (kg)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
3,09	0,149	0,000152	0,00005	0,43
3,5	0,342	0,000349	0,00010	0,88
3,12	0,415	0,000423	0,00014	1,20
3,2	0,545	0,000556	0,00017	1,54
3,08	0,644	0,000656	0,00021	1,89
3,07	0,795	0,000810	0,00026	2,34
3,2	0,923	0,000941	0,00029	2,60
3,26	0,998	0,001017	0,00031	2,76
3,37	1,105	0,001126	0,00033	2,96

Tabel 4.7 Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa bulat

2. Untuk menghitung *Reynolds number*

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{981 \times 0,0120 \times 0,43}{0,000440} = 11646$$

Maka kita dapatkan tipe aliran turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
29	981	0,000440	0,43	11646
29	981	0,000466	0,88	22242
29	981	0,000466	1,20	30276
30	981	0,000466	1,54	38766
30	981	0,000466	1,89	47593
30	981	0,000466	2,34	58944
31	981	0,000466	2,60	65654
31	981	0,000466	2,76	69682
31	981	0,000466	2,96	74635

Tabel 4.8 Perhitungan Reynolds number pada pipa bulat

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,0120)(0,030)}{(1,24)(0,43)^2} = 0,0301$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,030	0,43	1,24	0,0301
0,105	0,88	1,24	0,0257
0,180	1,20	1,24	0,0238
0,277	1,54	1,24	0,0223
0,398	1,89	1,24	0,0213
0,579	2,34	1,24	0,0202
0,698	2,60	1,24	0,0196
0,775	2,76	1,24	0,0193
0,870	2,96	1,24	0,0189

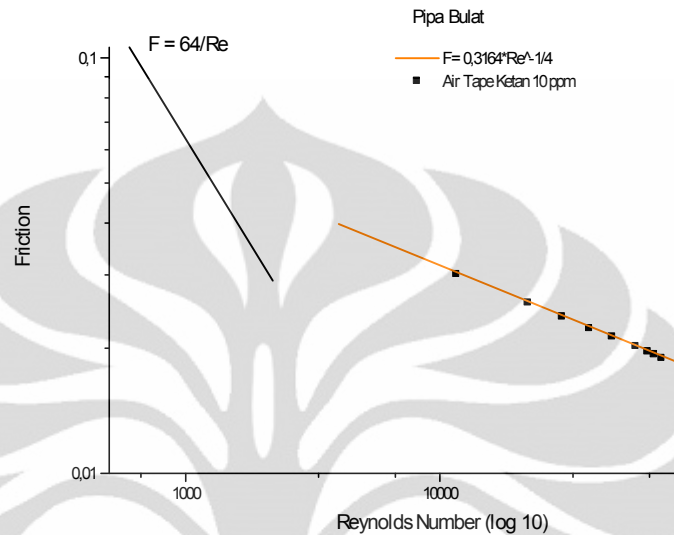
Tabel 4.9 Perhitungan koefisien gesek pada pipa bulat

4. Menghitung Friction Blasius

Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (11646)^{-\frac{1}{4}} = 0,0376$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam grafik.



Grafik 4.3 Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air+10 ppm air tape ketan

Pada grafik terlihat friction yang terjadi di daerah aliran turbulen berada sedikit dibawah garis persamaan blasius, penambahan air tape ketan sedikit menurunkan gesekan yang terjadi.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian II dengan pipa *acrylic* Kotak (10 ppm) :

- Diameter pipa (d_h) = 0,02 m
- Massa air yang ditampung (m) = 0,114 kg
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 3,21 detik
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,0010m
- Massa jenis (T = 29 °C) = 981 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida (T = 29 °C) = 0,000440 m²/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m²/s

$$\text{Menghitung Volume} = \frac{m}{\rho} = \frac{0,114}{981} = 0,000116 \quad \text{m}^3$$

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,000116}{3,21} = 0,000036$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,000036}{0,000314} = 0,115 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

Waktu (s)	Masa (kg)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
3,21	0,114	0,000116	0,000036	0,115
3,15	0,268	0,000273	0,000087	0,276
3,2	0,421	0,000429	0,000134	0,427
3,18	0,532	0,000542	0,000171	0,543
3,21	0,661	0,000674	0,000210	0,668
3,15	0,775	0,000790	0,000251	0,799
3,12	0,881	0,000898	0,000288	0,917
3,09	0,976	0,000995	0,000322	1,025

Tabel 4.10 perhitungan debit dan kecepatan pada pipa kotak

2. Untuk menghitung Reynolds number

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{981 \times 0,02 \times 0,115}{0,000440} = 5146$$

Tipe aliran yang terjadi berada di daerah turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
29	981	0,000440	0,115	5146
29	981	0,000440	0,276	12329
29	981	0,000440	0,427	19064
30	981	0,000440	0,543	24242
30	981	0,000440	0,668	29839
30	981	0,000440	0,799	35652
31	981	0,000440	0,917	40918
31	981	0,000440	1,025	45770

Tabel 4.11 Perhitungan Reynolds number pada pipa kotak

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,02)(0,0010)}{(1)(0,115)^2} = 0,0372$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,001	0,115	1	0,0372
0,006	0,276	1	0,0299
0,012	0,427	1	0,0267
0,019	0,543	1	0,0253
0,027	0,668	1	0,0239
0,037	0,799	1	0,0229
0,047	0,917	1	0,0221
0,057	1,025	1	0,0214

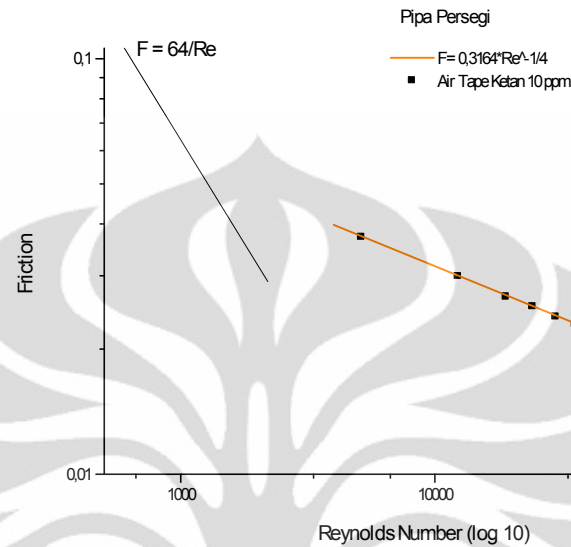
Tabel 4.12 Perhitungan koefisien gesek pada pipa kotak

4. Menghitung Friction Blasius

Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (5146)^{-\frac{1}{4}} = 0,0374$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam diagram.



Grafik 4.4 Koefisien gesek pada pipa persegi dengan fluida air+10 ppm air tape ketan

Pada grafik terlihat friction yang terjadi di daerah aliran turbulen berada sedikit dibawah garis persamaan blasius, penambahan air tape ketan sedikit menurunkan gesekan yang terjadi.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian II dengan pipa acrylic bulat (20 ppm) :

- Diameter pipa (d) = 12mm = 0,0120 m
- Massa air yang ditampung (m) = 0,059 kg
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 3,08 detik
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,006 m
- Massa jenis ($T = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 982 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida ($T = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 0,000453 m²/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m²/s

$$\text{Menghitung Volume} = \frac{m}{\rho} = \frac{0,059}{982} = 0,000061$$

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,000061}{3,08} = 0,000020$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,000020}{0,0001} = 0,174 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m^3/s)

A = Luas penampang pipa (m^2)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

Waktu (s)	Masa (kg)	Volume (m^3)	Debit (m^3/s)	Kecepatan (m^2/s)
3,08	0,0595	0,000061	0,000020	0,174
3,11	0,1405	0,000143	0,000046	0,407
3,12	0,205	0,000209	0,000067	0,592
3,05	0,325	0,000331	0,000109	0,960
3,19	0,443	0,000451	0,000141	1,251
3,05	0,525	0,000535	0,000175	1,551
3,09	0,615	0,000626	0,000203	1,793
3,06	0,705	0,000718	0,000235	2,076
3,12	0,886	0,000902	0,000289	2,558
3,2	0,998	0,001016	0,000318	2,810

Tabel 4.13 Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa bulat

2. Untuk menghitung Reynolds number

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{982 \times 0,0120 \times 0,174}{0,000453} = 4531$$

Tipe aliran yang terjadi adalah aliran turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
29	982	0,000453	0,174	4531
29	982	0,000453	0,407	10596
29	982	0,000453	0,592	15410
30	982	0,000453	0,960	24991
30	982	0,000453	1,251	32570
30	982	0,000453	1,551	40371
31	982	0,000453	1,793	46679
31	982	0,000453	2,076	54035
31	982	0,000453	2,558	66602
31	982	0,000453	2,810	73145

Tabel 4.14 Perhitungan Reynolds number pada pipa bulat

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,012)(0,006)}{(1,24)(0,174)^2} = 0,0386$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,006	0,174	1,24	0,0345
0,026	0,407	1,24	0,0298
0,050	0,592	1,24	0,0271
0,115	0,960	1,24	0,0237
0,182	1,251	1,24	0,0221
0,265	1,551	1,24	0,0209
0,351	1,793	1,24	0,0207
0,454	2,076	1,24	0,0200
0,660	2,558	1,24	0,0191

0,775	2,810	1,24	0,0186
-------	-------	------	--------

Tabel 4.15 Perhitungan Koefisien gesek pada pipa bulat

4. Menghitung Friction Blasius

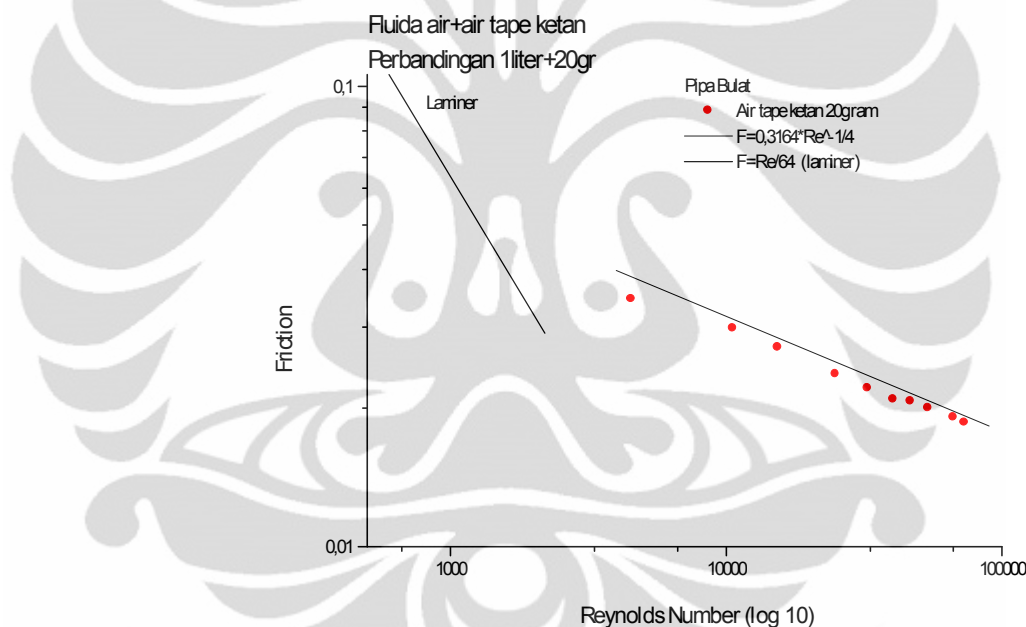
Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (4531)^{-\frac{1}{4}} = 0,0386$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam diagram.

Universitas Indonesia

58



Grafik 4.5 Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air+20 ppm air tape ketan

Pada grafik terlihat friction yang terjadi di daerah aliran turbulen berada sedikit dibawah garis persamaan blasius, penambahan air tape ketan sedikit menurunkan gesekan yang terjadi.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian II dengan pipa acrylic Kotak (20 ppm) :

- Diameter pipa (d) = 0,02 m
- Massa air yang ditampung (m) = 0,184 kg
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 3,1 detik
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,003m

- Massa jenis (T = 29 °C) = 982 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida (T = 29 °C) = 0,000453 m²/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m²/s

$$\text{Menghitung Volume} = \frac{m}{\rho} = \frac{0,184}{982} = 0,000187$$

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,000187}{3,1} = 0,000060$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,000060}{0,000314} = 0,192 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

Waktu (s)	Masa (kg)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
3,1	0,184	0,000187	0,000060	0,192
3,07	0,279	0,000284	0,000093	0,295
3,17	0,556	0,000566	0,000179	0,569
3,05	0,668	0,000680	0,000223	0,710
3,05	0,765	0,000779	0,000255	0,813
3,2	0,912	0,000929	0,000290	0,924
3,1	0,998	0,001016	0,000328	1,044

Tabel 4.16 Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa persegi

2. Untuk menghitung Reynolds number

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{982 \times 0,02 \times 0,192}{0,000453} = 8352$$

Tipe aliran yang terjadi adalah turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
29	982	0,000453	0,192	8352
29	982	0,000453	0,295	12789
26	982	0,000453	0,569	24682
30	982	0,000453	0,710	30820
30	982	0,000453	0,813	35295
31	982	0,000453	0,924	40105
31	982	0,000453	1,044	45303

Tabel 4.17 Perhitungan Reynolds number pada pipa persegi

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,02)(0,003)}{(1)(0,192)^2} = 0,0328$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,003	0,192	1	0,0328
0,006	0,295	1	0,0289
0,020	0,569	1	0,0245
0,030	0,710	1	0,0233

0,038	0,813	1	0,0225
0,048	0,924	1	0,0218
0,059	1,044	1	0,0211

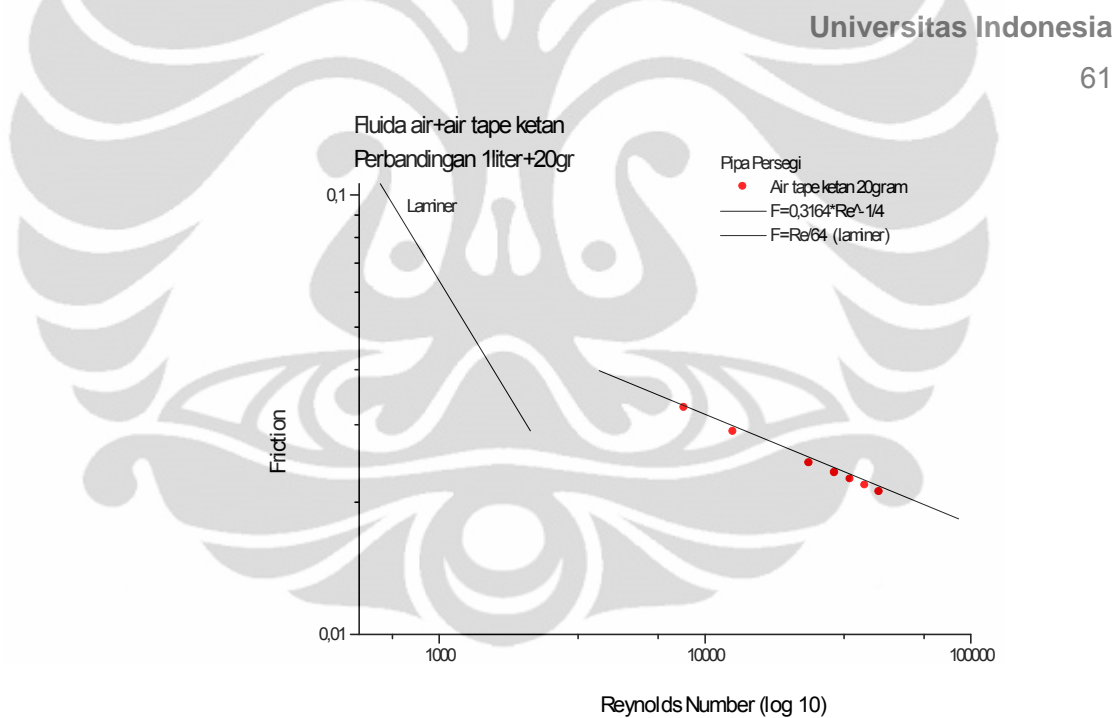
Tabel 4.18 Pehitungan Koefisien gesek pada pipa pesegi

4. Menghitung Friction Blasius

Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (8352)^{-\frac{1}{4}} = 0,0331$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam *Moody* diagram.



Grafik 4.6 Koefisien gesek pada pipa pesegi dengan fluida air+20 ppm air tape ketan

Pada grafik terlihat friction yang terjadi di daerah aliran turbulen berada sedikit dibawah garis persamaan blasius, penambahan air tape ketan sedikit menurunkan gesekan yang terjadi.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian II dengan pipa acrylic bulat (30 ppm) :

- Diameter pipa (d) = 12mm = 0,0120 m

- Massa air yang ditampung (m) = 0,098 kg
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 3,33 detik
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,0110
- Massa jenis (T = 29 °C) = 983 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida (T = 29 °C) = 0,000466 m²/s
- Gravitasi (g) =9,81 m²/s

$$\text{Menghitung Volume} = \frac{m}{\rho} = \frac{0,098}{983} = 0,000100$$

$$\text{Menghitung Q} = \frac{v}{t} = \frac{0,000100}{3,33} = 0,000030$$

Universitas Indonesia

62

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,000030}{0,0001} = 0,26 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

Waktu (s)	Masa (kg)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
3,33	0,098	0,000100	0,000030	0,26
3,26	0,215	0,000219	0,000067	0,59
3,26	0,301	0,000306	0,000094	0,83
3,25	0,422	0,000429	0,000132	1,17

3,25	0,56	0,000570	0,000175	1,55
3,3	0,602	0,000612	0,000186	1,64
3,03	0,715	0,000727	0,000240	2,12
3,25	0,897	0,000913	0,000281	2,48
3,08	0,975	0,000992	0,000322	2,85

Tabel 4.19 Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa bulat

2. Untuk menghitung Reynolds number

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{983 \times 0,0120 \times 0,26}{0,000466} = 6699$$

Tipe aliran yang terjadi adalah turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
29	983	0,000466	0,26	6699
29	983	0,000466	0,59	15012
29	983	0,000466	0,83	21016
30	983	0,000466	1,17	29555
30	983	0,000466	1,55	39221
30	983	0,000466	1,64	41523
31	983	0,000466	2,12	53712
31	983	0,000466	2,48	62823
31	983	0,000466	2,85	72055

Tabel 4.20 Perhitungan Reynolds number pada pipa bulat

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = H_L \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,0120)(0,011)}{(1,24)(0,26)^2} = 0,0298$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,0110	0,26	1,24	0,0298

0,0485	0,59	1,24	0,0261
0,0880	0,83	1,24	0,0242
0,1490	1,17	1,24	0,0207
0,2500	1,55	1,24	0,0197
0,2800	1,64	1,24	0,0197
0,4500	2,12	1,24	0,0189
0,6000	2,48	1,24	0,0185
0,7600	2,85	1,24	0,0178

Tabel 4.21 Perhitungan Koefisien gesek pada pipa bulat

4. Menghitung Friction Blasius

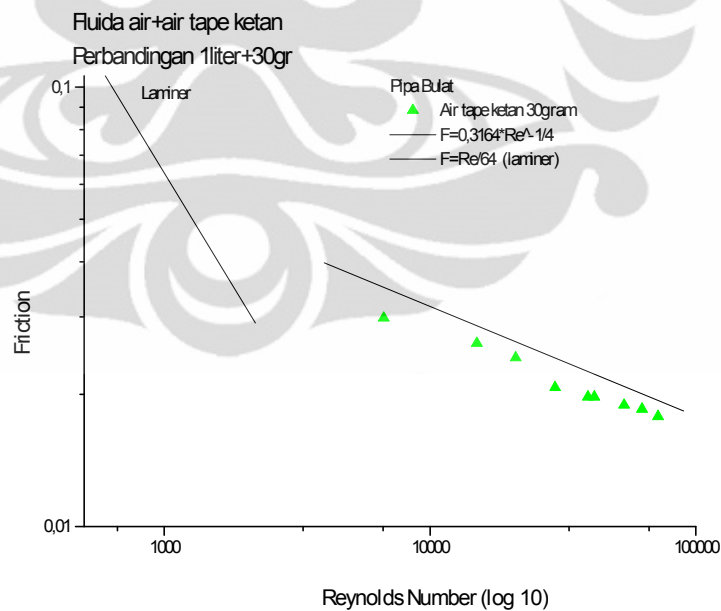
Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (6699)^{-\frac{1}{4}} = 0,0350$$

Universitas Indonesia

64

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam *Moody* diagram.



Grafik 4.7 Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air+30 ppm air tape ketan

Pada grafik terlihat friction yang terjadi di daerah aliran turbulen berada sedikit dibawah garis persamaan blasius, penambahan air tape ketan sedikit menurunkan gesekan yang terjadi.

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk data yang didapat dari hasil pengujian II dengan pipa acrylic Kotak (30 ppm) :

- Diameter pipa (d) = 0,02 m
- Massa air yang ditampung (m) = 0,225 kg
- Waktu yang tercatat pada saat pengambilan data (t) = 3,41 detik
- Beda head yang terukur pada manometer lurus yaitu 0,004m
- Massa jenis (T = 29 °C) = 983 kg/m³
- Viskositas kinematik fluida (T = 29 °C) = 0,000466 m²/s
- Gravitasi (g) = 9,81 m²/s

$$\text{Menghitung Volume} = \frac{m}{\rho} = \frac{0,225}{983} = 0,000229$$

Universitas Indonesia

65

$$\text{Menghitung debit (Q)} = \frac{v}{t} = \frac{0,000229}{3,41} = 0,000067$$

Menghitung kecepatan rata-rata air pada pipa penguji dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Menghitung kecepatan rata-rata aliran

$$Q = A.U$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{0,000067}{0,000314} = 0,214 \text{ m/s}$$

Dimana : Q = Debit aliran (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m²)

U = Kecepatan rata-rata (m/s)

m = Massa fluida (kg)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

t = Waktu fluida yang ditampung (s)

d = Diameter pipa (m)

Waktu (s)	Masa (kg)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan (m ² /s)
3,41	0,225	0,000229	0,000067	0,214
3,38	0,342	0,000348	0,000103	0,328
3,43	0,485	0,000493	0,000144	0,458
3,21	0,548	0,000557	0,000174	0,553
3,22	0,639	0,000650	0,000202	0,643
3,44	0,844	0,000859	0,000250	0,795
3,39	0,985	0,001002	0,000296	0,941
3,19	1,102	0,001121	0,000351	1,119

Tabel 4.22 Perhitungan debit dan kecepatan pada pipa persegi

2. Untuk menghitung *Reynolds number*

Dari hasil perhitungan kecepatan rata-rata diatas maka bilangan *Reynolds number* bisa dihitung, yaitu :

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} = \frac{983 \times 0,02 \times 0,214}{0,000466} = 9011$$

Universitas Indonesia

66

Tipe aliran yang terjadi adalah turbulen

Suhu air (°C)	Density (Kg/m ³)	Dynamic Viscosity (pa-s)	Kecepatan (m/s)	Re
29	983	0,000466	0,214	9011
29	983	0,000466	0,328	13819
30	983	0,000466	0,458	19311
30	983	0,000466	0,553	23315
30	983	0,000466	0,643	27102
31	983	0,000466	0,795	33508
31	983	0,000466	0,941	39682
31	983	0,000466	1,119	47179

Tabel 4.23 Perhitungan Reynolds number pada pipa pesegi

3. Menghitung koefisien gesek (λ)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$H_L = \lambda \frac{LU^2}{2gd} \Rightarrow \lambda = H_L \frac{2gd\Delta h}{LU^2} = \frac{2(9,81)(0,02)(0,004)}{(1)(0,214)^2} = 0,0432$$

Δh (m)	Kecepatan (m/s)	L (m)	λ
0,004	0,214	1	0,0309
0,008	0,328	1	0,0281
0,013	0,458	1	0,0247
0,018	0,553	1	0,0236
0,024	0,643	1	0,0228
0,036	0,795	1	0,0224
0,048	0,941	1	0,0213
0,064	1,119	1	0,0200

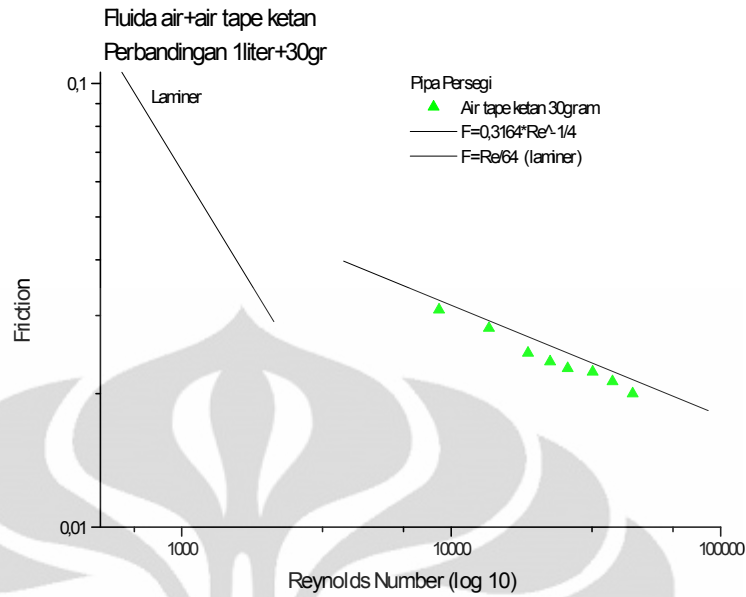
Tabel 4.24 Perhitungan Koefisien gesek pada pipa persegi

4. Menghitung Friction Blasius

Cara perhitungan Friction Blasius adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,3164 \times Re^{-\frac{1}{4}} = 0,3164 \times (9011)^{-\frac{1}{4}} = 0,0309$$

Dari hasil yang didapat maka dapat diplot kedalam diagram.



Grafik 4.8 Koefisien gesek pada pipa bulat dengan fluida air+30 ppm air tape ketan

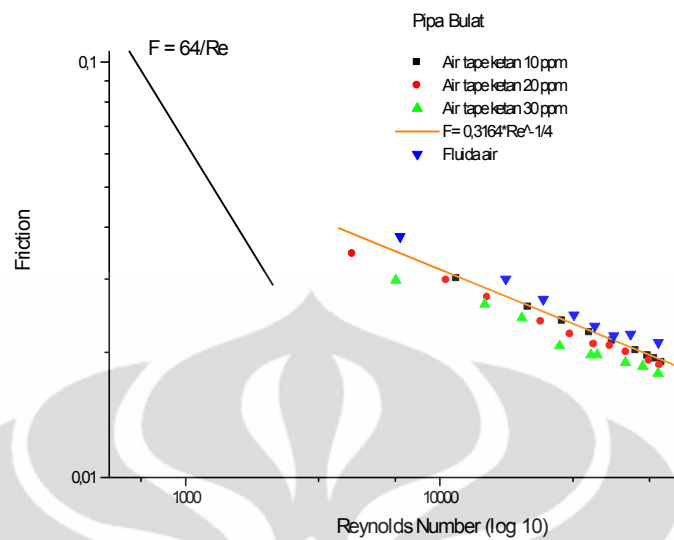
Pada grafik terlihat friction yang terjadi di daerah aliran turbulen berada sedikit dibawah garis persamaan blasius, penambahan air tape ketan sedikit menurunkan gesekan yang terjadi.

Nilai suatu power law index (n) Fluida air tape ketan ;

$$n = n = \frac{\text{Log} \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\text{Log} \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} = \dots (0,8-0,85)$$

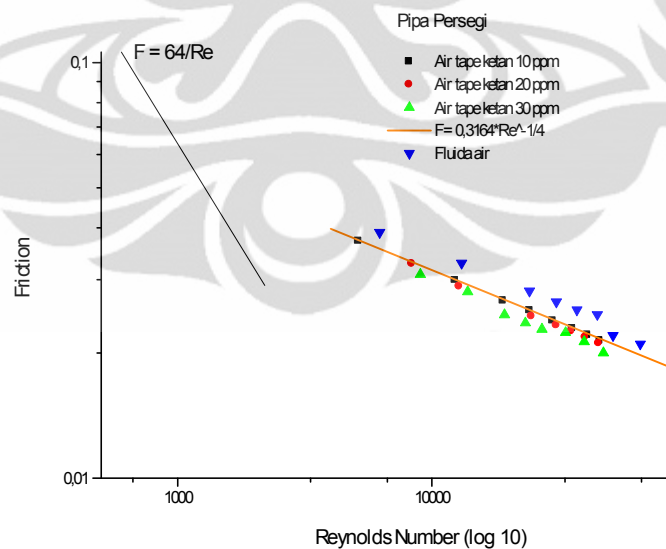
4.3.2 Analisa Hasil Pengujian II

Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa data yang selanjutnya diolah dengan menggunakan teori dan persamaan fluida sehingga di dapatkan suatu kesimpulan dalam grafik, pada grafik ini adalah gabungan fluida air+air tape ketan dengan konsentrasi yang bervariasi. Berikut adalah grafik pada pipa bulat dan persegi :



Grafik 4.9 Koefisien gesek yang terjadi pada pipa bulat dengan variasi campuran air tape ketan

Pada grafik aliran fluida yang terjadi berada di daerah turbulen, terlihat pada grafik terjadi penurunan koefisien gesek yang terjadi disebabkan adanya penambahan air tape ketan



Grafik 4.10 Koefisien gesek yang terjadi pada pipa persegi dengan variasi campuran air tape ketan

Penurunannya bervariasi pada pipa bulat maupun pipa persegi, seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini :

Reynolds Number	Konsentrasi larutan	%Drag reduction
11000 - 74000	10gram	2,15
5000 - 73000	20gram	5,109
7000 - 72000	30gram	10,338

Tabel 4.25 Persentase Drag Reduction pada pipa bulat

Reynolds Number	Konsentrasi larutan	%Drag reduction
5000 - 45000	10gram	1.05
8000 - 45000	20gram	2,367
9000 - 47000	30gram	6,015

Tabel 4.26 Persentase Drag Reduction pada pipa persegi

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

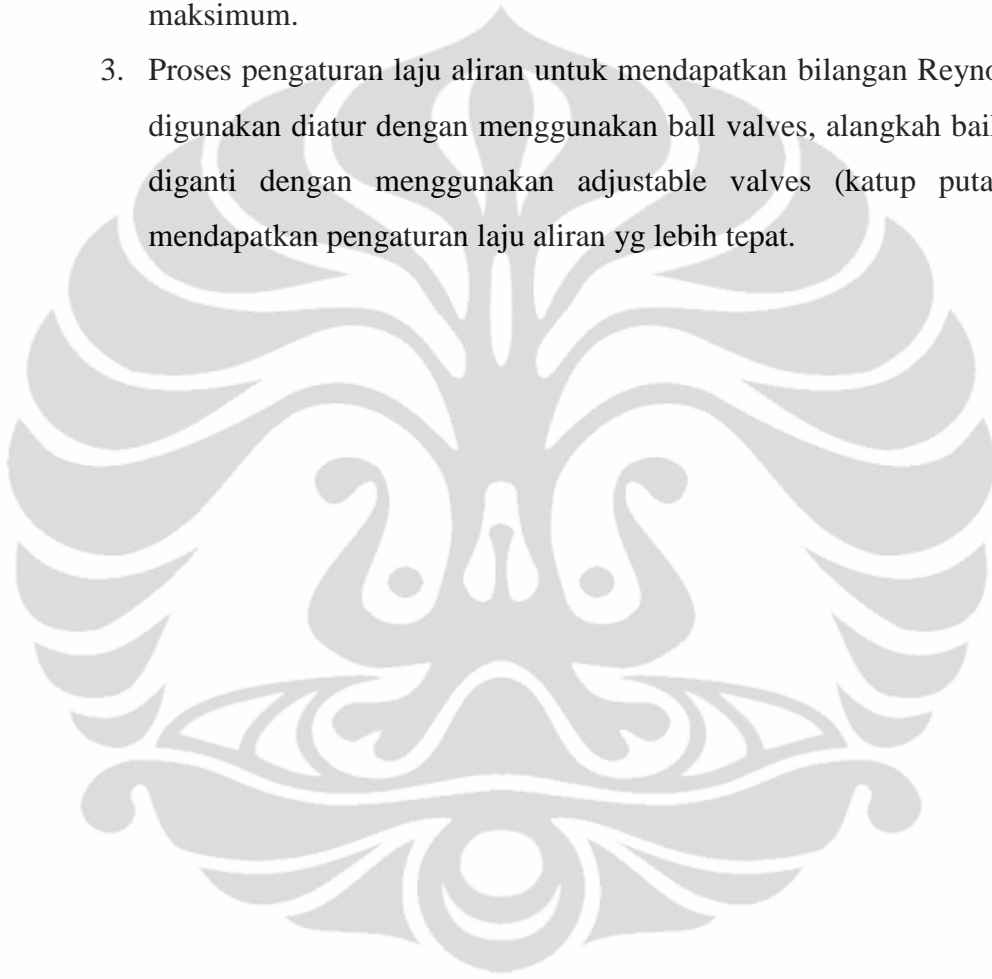
1. Aliran yang mengalir pada pipa dengan fluida air dan variasi konsentrasi air tape ketan mempengaruhi koefisien gesek yang terjadi. Tipe aliran yang terjadi pada penelitian ini adalah turbulen, aliran bergerak cepat dan mengalami turbulensi sehingga aliran mengalami penurunan drastis. Fementasi air tape ketan dapat mengurangi kerugian yang terjadi dalam instalasi pipa ini
2. Nilai factor gesek pada pipa persegi dengan aspek rasio 1 lebih kecil bila dibandingkan dengan pipa bulat, hal ini disebabkan karena Secondary flow yang terjadi secara natural pada pipa persegi membuat vortex pada sudut-sudut penampang persegi menahan aliran secondary flow pada sekeliling pipa.
3. Semakin besar konsentrasi biopolimer maka semakin besar pula penurunan koefisien gesek yang terjadi. Drag reduction pada Re 5000-74000 di pipa bulat yaitu sebesar 2-10%, sedangkan pada pipa persegi sebesar 1-6% (Re 5000-47000).

5.2 SARAN

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

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

2. Untuk mendapatkan data yang akurat dari suatu penelitian perlu digunakan jenis pompa yang lebih memiliki kestabilan putaran, baik dalam kondisi putaran rendah/tinggi atau saat fluida dalam siklus mengalami tekanan maksimum.
3. Proses pengaturan laju aliran untuk mendapatkan bilangan Reynolds yang digunakan diatur dengan menggunakan ball valves, alangkah baiknya jika diganti dengan menggunakan adjustable valves (katup putar) untuk mendapatkan pengaturan laju aliran yg lebih tepat.



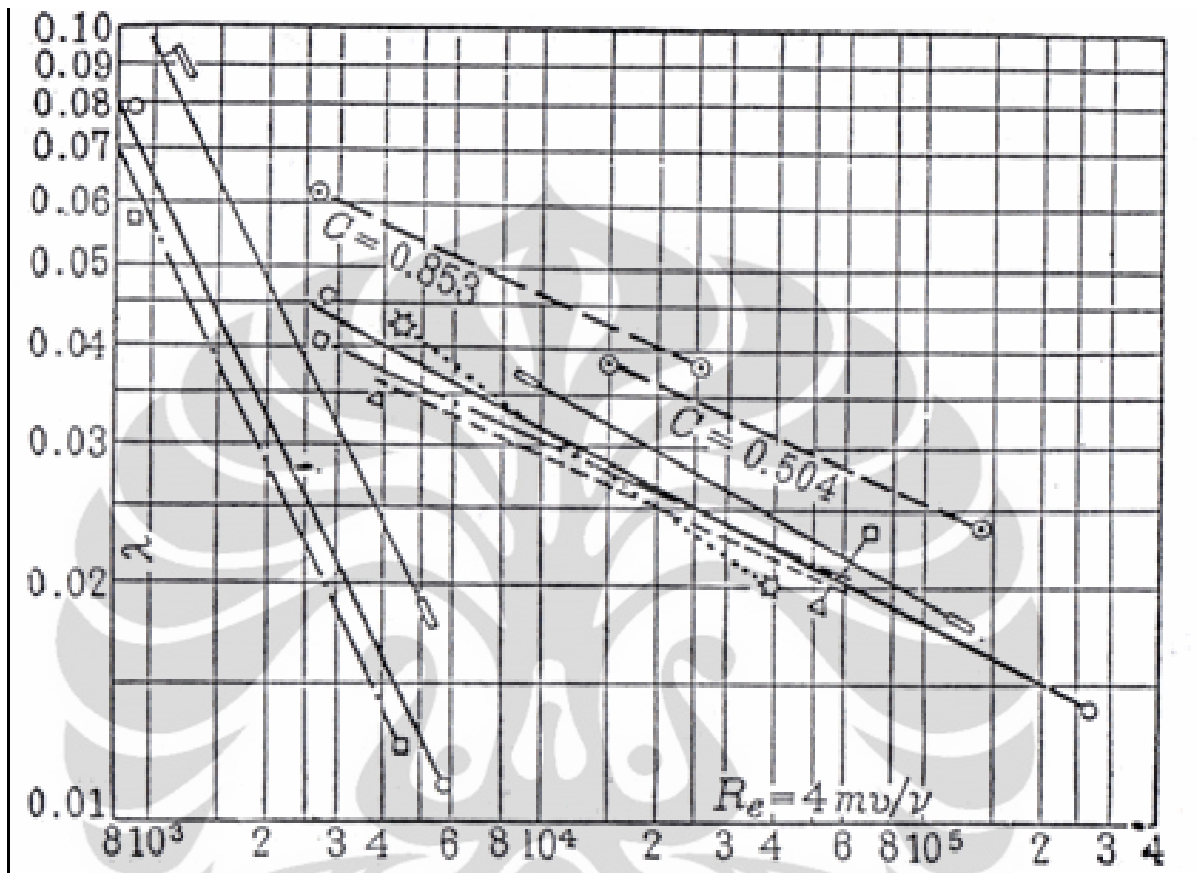
Lampiran 1

1: water: V/L sat. T=28, to 35, °C

	Temperature (°C)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Viscosity (μPa-s)	Vapor Viscosity (μPa-s)	Liquid Kin. Viscosity (cm ² /s)	Vapor Kin. Viscosity (cm ² /s)
1	28,000	996,19	0,027269	832,49	9,9525	0,0083567	3,6498
2	28,500	996,05	0,028028	823,47	9,9669	0,0082674	3,5561
3	29,000	995,90	0,028805	814,62	9,9814	0,0081797	3,4651
4	29,500	995,76	0,029601	805,91	9,9959	0,0080935	3,3769
5	30,000	995,61	0,030415	797,36	10,010	0,0080087	3,2912
6	30,500	995,45	0,031249	788,95	10,025	0,0079255	3,2081
7	31,000	995,30	0,032102	780,68	10,039	0,0078437	3,1274
8	31,500	995,14	0,032975	772,55	10,054	0,0077632	3,0490
9	32,000	994,99	0,033868	764,56	10,069	0,0076842	2,9729
10	32,500	994,82	0,034782	756,71	10,083	0,0076064	2,8991
11	33,000	994,66	0,035717	748,98	10,098	0,0075300	2,8273
12	33,500	994,50	0,036673	741,38	10,113	0,0074548	2,7576
13	34,000	994,33	0,037651	733,90	10,128	0,0073809	2,6899
14	34,500	994,16	0,038651	726,55	10,143	0,0073082	2,6241
15	35,000	993,99	0,039674	719,31	10,157	0,0072366	2,5602

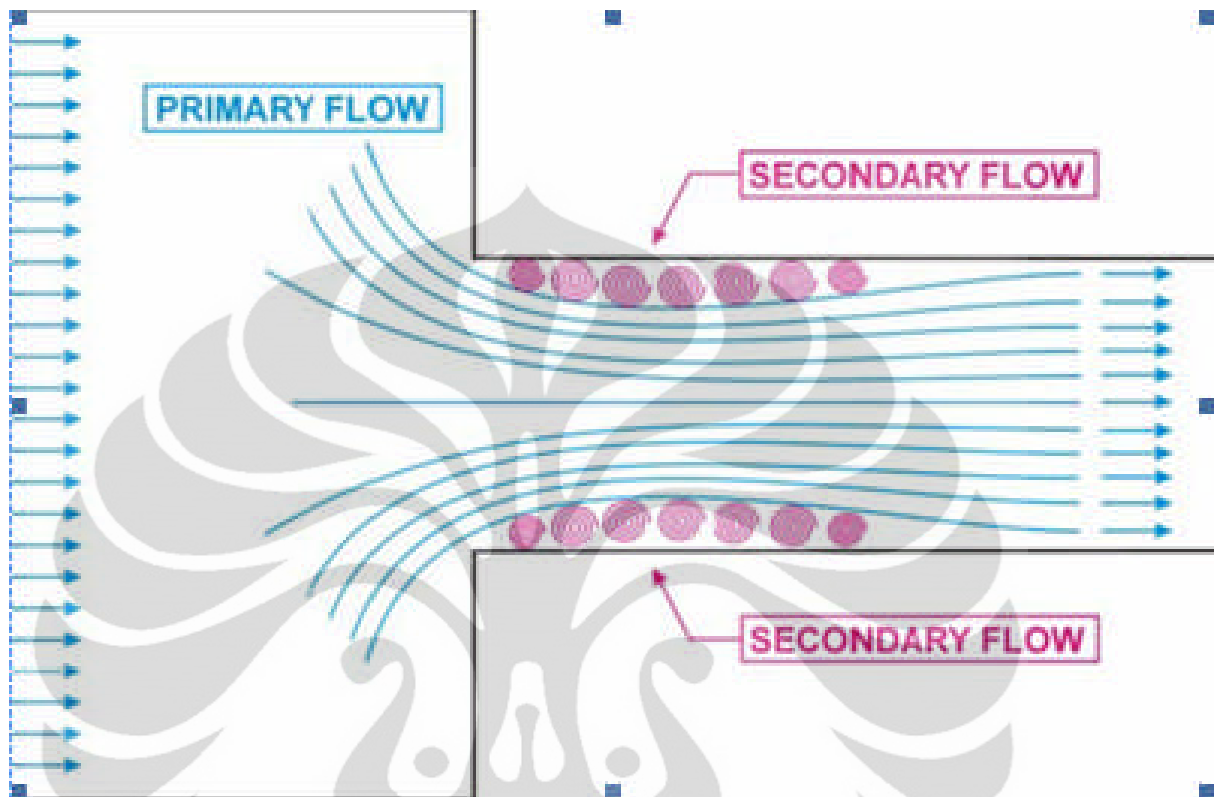
Tabel Viscosity Air Murni Dengan variasi Temperatur

Lampiran 2



Grafik Reynolds Number vs Friction dengan variasi profil pipa

Lampiran 3



Gambar Secondary Flow pipa persegi

DAFTAR NOTASI

Ketinggian manometer	= h	(mm)
Perbedaan ketinggian mamometer	= Δh	(mm)
Perbedaan tekanan	= ΔP	(Pa)
Temperatur fluida	= T	(°C)
Waktu	= t	(s)
Volume fluida	= Vol	(ml)
Kecepatan aliran fluida	= u	(m/s)
Diameter pipa	= D_{in}	(mm)
Luas permukaan aliran	= A	(m ²)
Debit fluida	= Q	(m ³ /s)
Kecepatan gravitasi	= g	(m/s ²)
Panjang antar tap	= L	(m)
Viskositas Kinematik	= ν	(m ² /s)
Viskositas dinamik	= μ	(kg m ⁻¹ s ⁻¹)
Massa jenis	= ρ	(kg m ⁻³)
Massa	= m	(kg)
Koefisien Gesek	= λ	
Bilangan Reynolds	= Re	