



UNIVERSITAS INDONESIA

EFEK KEKASARAN PIPA TERHADAP KOEFISIEN GESEK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

DACHRY ANTONI

0906604703

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



UNIVERSITAS INDONESIA

EFEK KEKASARAN PIPA TERHADAP KOEFISIEN GESEK

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

DACHRY ANTONI

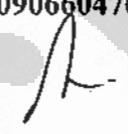
0906604703

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : Dachry Antoni
NPM : 0906604703
Tanda Tangan : 
Tanggal : 9 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Dachry Antoni

NPM : 0906604703

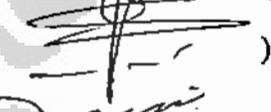
Program studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Efek Kekasaran Pipa Terhadap Koefisien Gesek

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

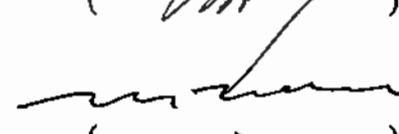
DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo ()

Penguji : Ir. Hadi Tresna Wibowo, MT. ()

Penguji : Ir. Marcus A. Talahatu, MT. ()

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Januari 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

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

- 1) Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 2) Kedua Orang tua saya, Drs. H. Dahturman Dahlan, MM dan Dra. Hj. Sri Hartati, adik dan kakak-kakak saya, Dirhamsyah Maulana, S.Ikom, Dhany Novario, SP dan Nenny Andriyetni, SP, yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan doa.
- 3) Sahabat PPSE Mesin 2009 terutama yang telah banyak membantu memberikan bantuan, dukungan dan semangat dari masa perkuliahan hingga terselesaikannya pengerjaan skripsi ini. *Special thanks to* Baskoro, Jhibril, Charles, Sigit dan Azmi.
- 4) Chevron Geothermal Salak, Ltd terutama My Bos Adrian Muskan ST, M.Sc., yang telah memberikan dukungan penuh dari masa perkuliahan hingga terselesaikannya pengerjaan skripsi ini dan juga rekan-rekan kerja di Rotating Equipment section, Maintenance Department, Salak Field.

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

Depok, 9 Januari 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Dachry Antoni

NPM : 0906604703

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 :

Efek Kekasaran Pipa Terhadap Koefisien Gesek

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

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Januari 2012

Yang menyatakan,



(Dachry Antoni)

ABSTRAK

Nama : Dachry Antoni
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Efek Kekasaran Pipa Terhadap Koefisien Gesek

Aliran fluida untuk permukaan pipa mulus dan kasar telah diteliti. Eksperimen ini menggunakan pipa baja berdiameter 35,5 mm, pipa dikasarkan dengan dibuat ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08. Setiap pipa diuji dengan air murni pada temperatur 30° C.

Dengan mengatur bukaan katup maka kecepatan aliran fluida (air) dapat diketahui. Hasil pengolahan data ditampilkan hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds dalam bentuk grafik. Dari hasil data dan grafik menunjukkan bahwa dengan pengujian pada pipa pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 menghasilkan koefisien gesek yang lebih besar dibandingkan dengan koefisien gesek pada pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05. Perbedaan nilai koefisien gesek rata-rata dari kedua pipa uji tersebut adalah sebesar 112%.

Koefisien gesek pada aliran turbulen terlihat meningkat sebanding dengan kekasaran pipa. Rasio kekasaran yang besar mendapatkan koefisien gesek yang besar juga dan sebaliknya. Kenaikan rasio k/D diikuti dengan kenaikan nilai koefisien gesek. Pada aliran turbulen fluida *Newtonian* (air murni) pada pipa kasar, nilai koefisien gesek turbulen merupakan fungsi dari Re dan nilai k/D atau $f = \phi(Re, k/D)$.

Kata kunci :

Aliran turbulen, Kekasaran permukaan, Koefisien gesek, Bilangan Reynolds.

ABSTRACT

Name : Dachry Antoni
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Pipe Roughness Effect Towards Friction Factor

Fluid flow on smooth and rough pipe surface has been researched. This experiment is using Steel Pipe with diameter 35,5 mm, which pipe is roughened by making inner thread with pitch 4 (roughness value (k) 2,0 mm) k/D 0,05 and pitch 5 (roughness value (k) 2,75 mm) k/D 0,08. Each pipe is tested using water in with temperature 30° C.

By setting the valve opening, the fluid (water) flow speed can be discovered. Data processing result, which describes the connection between Friction Factor and Reynolds value, is showed in graphic. Data processing result and graphic show that the test on pitch 5 pipe (roughness value (k) 2,75 mm) k/D 0,08 has bigger Friction Factor compared to the test on pitch 4 pipe (roughness value (k) 2,0 mm) k/D 0,05. Difference of average Friction Factor on both tested pipes is 112%.

Friction Factor on turbulence flow is increasing proportional to the pipe surface roughness. The bigger value of roughness ratio comes to the bigger Friction Factor and also in reverse. In the *Newtonian* (water) turbulence flow on rough surface pipe, the turbulence friction factor is the function of Re and value k/D or $f = \phi(\text{Re}, k/D)$.

Keywords :

Turbulent Flow, Surface Roughness, Friction Factor, Reynold Number.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRAC.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 KLASIFIKASI FLUIDA	6
2.1.1 Fluida Newtonian.....	6
2.1.2 Fluida Non Newtonian.....	6
2.2 ALIRAN FLUIDA.....	7
2.2.1 Klasifikasi Aliran Fluida.....	7
2.2.2 Aliran Laminer dan Turbulen.....	9
2.2.3 Koefisien Gesek	10
2.2.4 Kekasaran Permukaan.....	12
2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA	14
2.3.1 Density	14
2.3.1.1 Densitas Massa.....	15
2.3.1.2 Berat Spesifik.....	15

2.3.1.3	Densitas Relatif	15
2.3.2	Viskositas	16
2.3.3	Bilangan Reynolds	16
2.4	PERSAMAAN FLUIDA	17
2.4.1	Laju Aliran Volume	17
2.4.2	Distribusi Kecepatan	18
2.5	ULIR	19
2.5.1	Beberapa Istilah Penting Pada Ulir	19
2.5.2	Standar Umum Untuk Ulir	20
 BAB III DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN		21
3.1	RANCANGAN ALAT UJI.....	21
3.2	SET UP ALAT	22
3.2.1	Rangka Meja Uji	22
3.2.2	Pompa	22
3.2.3	Pipa Pengujian.....	23
3.2.4	Manometer	24
3.2.5	Rangkaian Pipa PVC dan Selang	25
3.2.6	Valve atau Katup.....	25
3.2.7	Tangki Air	26
3.3	PERALATAN PENDUKUNG PENGUKURAN	27
3.3.1	Gelas Ukur	27
3.3.2	Stop Watch.....	27
3.3.3	Termometer	28
3.3.4	Tap Manometer	28
3.4	METODE PENELITIAN.....	29
3.4.1	Unit Pengujian.....	29
3.4.2	Persiapan Pengujian	29
3.5	PROSEDUR PENGUJIAN.....	30
3.6	METODE PENGOLAHAN DATA	31
 BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA.....		33
4.1	PERHITUNGAN DATA	33
4.1.1	Perhitungan Data Pipa Uji ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 Menggunakan Air Murni	33
4.1.1.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan (Δp)	33

4.1.1.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V).....	34
4.1.1.3	Perhitungan Faktor Gesekan (f)	36
4.1.1.4	Perhitungan Bilangan Reynold (Re)	37
4.1.2	Perhitungan Data Pipa Uji ulir dalam dengan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 Menggunakan Air Murni	38
4.1.2.1	Perhitungan Perbedaan Tekanan (Δp).....	39
4.1.2.2	Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V).....	39
4.1.2.3	Perhitungan Faktor Gesekan (f)	40
4.1.2.4	Perhitungan Bilangan Reynold (Re)	41
4.2	ANALISA DATA.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		48
5.1	KESIMPULAN.....	48
5.2	SARAN.....	48
DAFTAR PUSTAKA		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan antar shear stress – shear rate pada non-	7
Gambar 2.2	Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan..	8
Gambar 2.3	Proses berkembangnya aliran di atas plat	9
Gambar 2.4	Prilaku aliran sedang berkembang hingga penuh.....	10
Gambar 2.5	Moody Diagram.....	12
Gambar 2.6	Pengaruh Kekasaran Pada Sub Lapis	13
Gambar 2.7	Distribusi kecepatan aliran laminar dan turbulen.....	18
Gambar 2.8	Dimensi Pada Ulir.....	19
Gambar 2.9	Profil Dasar Ulir ISO Metrik.....	20
Gambar 3.1	Instalasi alat uji pipa PVC.....	21
Gambar 3.2	Pompa Centrifugal.....	23
Gambar 3.3	Pipa Pengujian.....	23
Gambar 3.4	Manometer.....	24
Gambar 3.5	Pipa PVC dan Selang Air.....	25
Gambar 3.6	Valve.....	25
Gambar 3.7	Tangki Air.....	26
Gambar 3.8	Gelas Ukur.....	27
Gambar 3.9	Stopwatch.....	27
Gambar 3.10	Termometer.....	28
Gambar 3.11	Tap Manometer.....	28
Gambar 4.1	Grafik Re-f Pipa Pengujian Ulir Pitch 4.....	43
Gambar 4.2	Grafik Re-f Pipa Pengujian Ulir Pitch 5.....	45
Gambar 4.3	Gabungan Grafik Re-f Pipa Pengujian Ulir Pitch4-Pitch5	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kekasaran pada beberapa permukaan dinding pipa.....	14
Tabel 3.1	Penampang pipa kasar berupa ulir (k/D).....	30
Tabel 4.1	Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) untuk Air Murni (Pitch 4 k 2,0 mm k/D 0,05)	33
Tabel 4.2.	Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni	34
Tabel 4.3.	Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni	35
Tabel 4.4	Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni	35
Tabel 4.5	Data Faktor Gesekan Aliran (f) Untuk Air Murni	36
Tabel 4.6	Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni	37
Tabel 4.7	Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) untuk Air Murni (Pitch 5 k 2,75 mm k/D 0,08	38
Tabel 4.8	Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni	39
Tabel 4.9	Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni	39
Tabel 4.10	Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni	40
Tabel 4.11	Data Faktor Gesekan Aliran (f) Untuk Air Murni	41
Tabel 4.12	Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni	42
Tabel 4.13	Aliran Fluida Air Pada Pipa Pengujian Ulir Pitch 4	43
Tabel 4.14	Aliran Fluida Air Pada Pipa Pengujian Ulir Pitch 5	44

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	50
LAMPIRAN 2	51
LAMPIRAN 3	52
LAMPIRAN 4	53
LAMPIRAN 5	54
LAMPIRAN 6	55
LAMPIRAN 7	56
LAMPIRAN 8	57
LAMPIRAN 9	58
LAMPIRAN 10	59
LAMPIRAN 11	60
LAMPIRAN 12	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Aliran dalam pipa merupakan salah satu cara transportasi untuk membawa material dari suatu tempat ke tempat lain. Hal ini berhubungan dengan bermacam pipa dan bermacam tipe fluida yang akan dialirkan. Energi yang diperlukan untuk mentransfer fluida tersebut sangat penting diketahui untuk dapat menghitung biaya operasi sesuai debit dan tekanan yang dibutuhkan. Berbagai jenis ukuran, material, penggunaan, ketahanan dan kekasaran permukaan bagian dalam pipa merupakan hal penting dalam penggunaan komersial pada sistem perpipaan. Jenis fluida 2 fase atau multiphase, kecepatan aliran dan lamanya fluida mulai digunakan, nilai kekentalan, ketahanan dari sifat fluida itu sendiri bila terkena tegangan geser (shear stress) juga sangat penting untuk diketahui oleh para ahli teknik.

Aliran fluida didalam pipa pada kenyataannya mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui fluida tersebut. Penurunan tekanan aliran di dalam pipa sangat penting untuk diketahui guna merancang sistem perpipaan. Kehilangan energi yang terbesar dari aliran air dalam pipa adalah akibat dari gesekan yang terjadi antara air dan dinding dalam pipa. Kekasaran pipa, panjang dan diameter pipa, jenis fluida, kecepatan dan bentuk aliran adalah hal yang sangat terkait dengan penurunan tekanan tersebut.

Pada perkembangan ilmu pengetahuan mengenai fluida sangat banyak sekali dilakukan penemuan-penemuan yang dikembangkan lewat penelitian yang dilakukan oleh para ahli dan engineering dengan tujuan untuk mengetahui penurunan tekanan, nilai bilangan *Reynold* (Re) suatu fluida dan koefisien gesek (f) dari berbagai jenis pipa. Di dunia industri banyak sekali menggunakan pipa dalam pendistribusian fluida cair dalam melakukan proses produksi. Pada pipa-pipa yang tersedia secara komersial kekasarannya tidak seragam dan tidak

diketahui dengan pasti. Dalam prakteknya pipa halus jarang dijumpai, banyak digunakan pipa kasar (mempunyai kekasaran dinding) seperti besi tuang, pipa beton, pipa yang telah lama digunakan, terkorosi dan berkerak. Pipa-pipa yang sudah tua biasanya cukup banyak berkerak atau timbul deposit, korosi dan kotor sehingga mempunyai nilai kekasaran yang jauh lebih besar dan diameter efektif yang sudah cukup banyak berubah.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh pemberian kekasaran permukaan pipa, dimana pipa dikasarkan secara buatan dengan bentuk ulir yang bervariasi terhadap koefisien gesek yang nantinya mengarah kepada kerugian tekanan pada sistem perpipaan.

Penelitian yang dilakukan diawali dengan penelitian yang dilakukan oleh J. Nikuradse yang melakukan penelitian pengaruh kekasaran pipa pada koefisien gesek. Dalam penelitiannya J. Nikuradse melakukan percobaan dengan menempelkan butiran pasir ke permukaan pipa sehingga mendapatkan rentang rasio kekasaran relative k/D dengan mendapatkan variasi koefisien gesek pipa kasar. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh White A. dengan menggunakan pipa yang dikasarkan dengan bentuk ulir menggunakan fluida air dan air yang ditambahkan variasi larutan *polyox*.

Eksperimen ini menggunakan pipa baja berdiameter 35,5 mm, pipa tersebut dikasarkan dengan dibuat ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08. Setiap pipa tersebut diuji dengan air murni pada temperatur 30°C. Air yang mengalir di dalam pipa uji diukur laju aliran dan kerugian tekanannya. Dengan mengatur katup, variasi bilangan Reynold didapatkan bersamaan dengan pengukuran tekanan.

Oleh karena itu, pada penulisan skripsi ini akan dibahas tentang **“Efek Kekasaran Pipa Terhadap Koefisien Gesek”** untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kekasaran pipa terhadap koefisien gesek yang diperoleh.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dalam studi ini akan dilakukan rancang bangun Pressure drop pipa baja berdiameter 35,5 mm yang dikasarkan dengan dibuat ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efek kekasaran permukaan dalam pipa terhadap koefisien gesek.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fluida yang digunakan adalah fluida yang tak mampu mampat yaitu air dan diuji pada temperatur 30° C.
2. Alat pengujian yang digunakan adalah pada pipa baja berdiameter 35,5 mm yang dikasarkan dengan dibuat ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 dan hanya untuk mengetahui efek kekasaran permukaan dalam pipa terhadap koefisien gesek yang terjadi.
3. Sistem instalasi pemipaan menggunakan pipa PVC dan selang 1 ¼ inci.
4. Perhitungan *pressure drop* dilakukan berdasarkan pengukuran selisih ketinggian pada dua daerah dengan jarak konstan (400 mm).

Untuk mempermudah penelitian khususnya dalam perhitungan data maka diambil asumsi–asumsi sebagai berikut:

1. Fluida yang digunakan termasuk kedalam fluida incompressible (tak mampu mampat) sehingga persamaan yang digunakan adalah persamaan untuk aliran tak mampu mampat.
2. Fluida yang digunakan adalah fluida yang termasuk fluida Newtonian.

3. Fluida yang mengalir pada pipa tidak mengalami kebocoran sehingga volume dalam rangkaian dianggap tetap.

1.5 METODE PENELITIAN

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing.

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

2. Studi pustaka.

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

3. Membuat alat uji.

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

4. Pengumpulan data.

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

5. Pengolahan data

Data mentah dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan kemudian diplot ke dalam grafik berbagai variasi bilangan Reynold terhadap koefisien gesek untuk melakukan analisis.

6. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis hubungan antara kekasaran permukaan dan hubungannya dengan *koefisien gesek (f)* dan *Bilangan Reynolds (Re)*.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

- **BAB I PENDAHULUAN**

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

- **BAB II DASAR TEORI**

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

- **BAB III PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN**

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

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

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

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

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

BAB II DASAR TEORI

2.1 KLASIFIKASI FLUIDA

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

2.1.1. Fluida Newtonian

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva shear stress dan gradient kecepatan yang linier, seperti air, udara, ethanol, benzene, dll. Fluida Newtonian akan terus mengalir dan viskositas fluida tidak berubah sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas fluida akan berubah jika terjadi perubahan temperature. Pada dasarnya fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dengan persamaan :

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

Dimana :

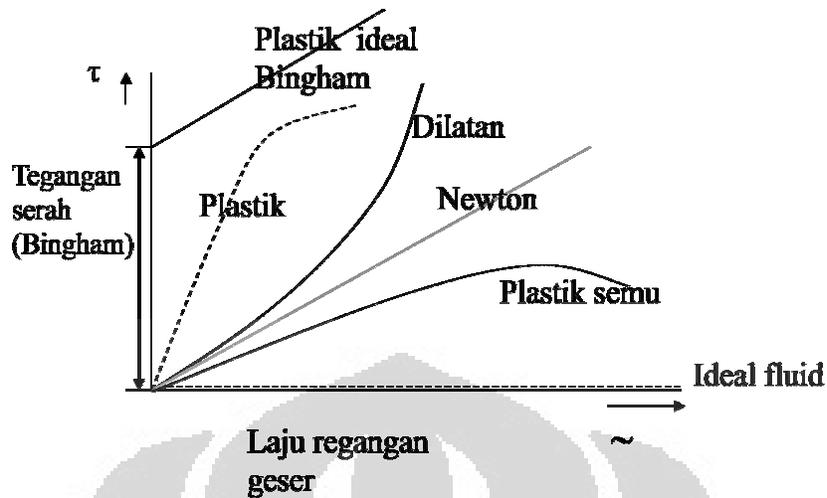
τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viskositas dinamik fluida

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

2.1.2. Fluidan Non-Newtonian

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (shear stress), gradient kecepatan (shear rate), dan temperature seperti cat, minyak pelumas, darah, bubur kertas, obat-obatan cair, dan lain-lain. Viskositas fluida Non-Newtonian merupakan fungsi dari waktu dimana gradient kecepatannya tidak linier dan tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran.



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

2.2 ALIRAN FLUIDA

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

2.2.1. Klasifikasi Aliran Fluida

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

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{D}\right) \dots \dots \dots (2)$$

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

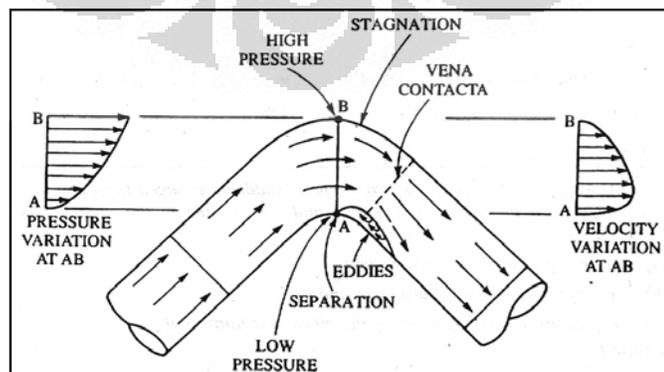
$$hf = \frac{\lambda L}{D(V^2 / 2g)} \dots \dots \dots (3)$$

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 :

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

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 losses*. 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.

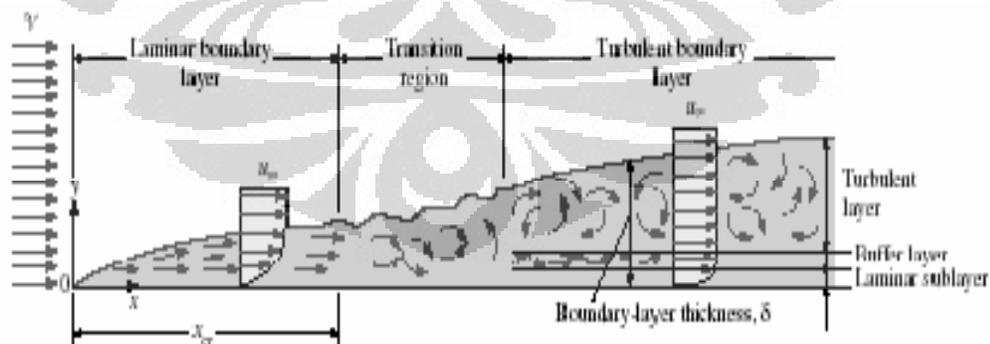


Gambar 2.2 Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan

2.2.2 Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan.

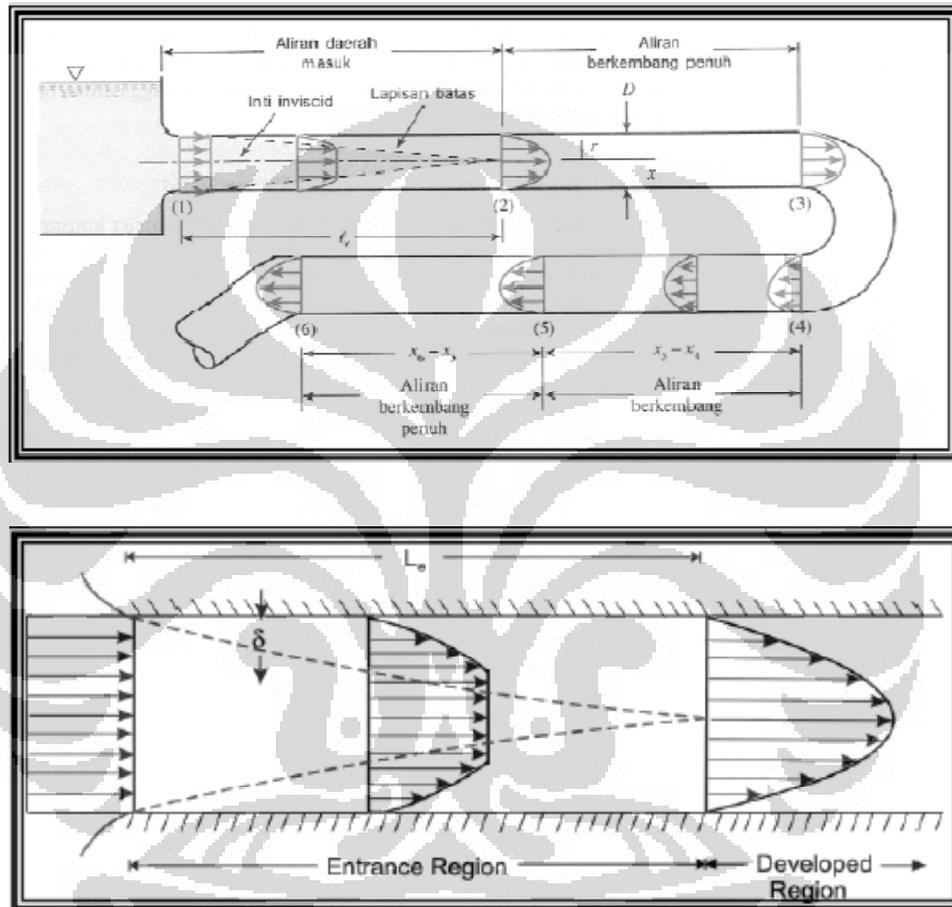
Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti pusaran-pusaran besar yang berada di sungai atau hampasan udara. Pusaran-pusaran besar membangkitkan pusaran-pusaran yang kecil yang pada gilirannya menciptakan turbulensi berskala kecil. Aliran turbulen berskala kecil mempunyai fluktuasi-fluktuasi kecil kecepatan yang terjadi dengan frekuensi yang tinggi. Pada umumnya, intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds. Aliran akan mengalami proses transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen sebelum aliran tersebut turbulen. Pada aliran internal, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen.



Gambar 2.3 Proses berkembangnya aliran di atas plat

Ketika aliran melewati awal ujung pipa, distribusi kecepatan didalam pipa mempunyai bentuk yang tidak teratur yang disebut aliran sedang berkembang.

Kondisi ini akan semakin berubah seiring bertambahnya panjang dari inlet. Distribusi kecepatan yang terjadi masing mengalami perubahan bentuk kontur. Setelah aliran mengalami fully developed flow atau berkembang penuh, maka distribusi kecepatan akan seragam untuk jarak dari inlet semakin panjang.



Gambar 2.4 Perilaku aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh

2.2.3 Koefisien Gesek

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

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

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

$$f = \phi\left(\text{Re}, \frac{\epsilon}{D}\right) \dots \dots \dots (5)$$

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

$$\Delta h = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana f adalah koefisien gesek Darcy dan dapat ditentukan dengan rumus

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

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

$$\epsilon = \frac{e}{D} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana : ϵ adalah kekasaran relatif.

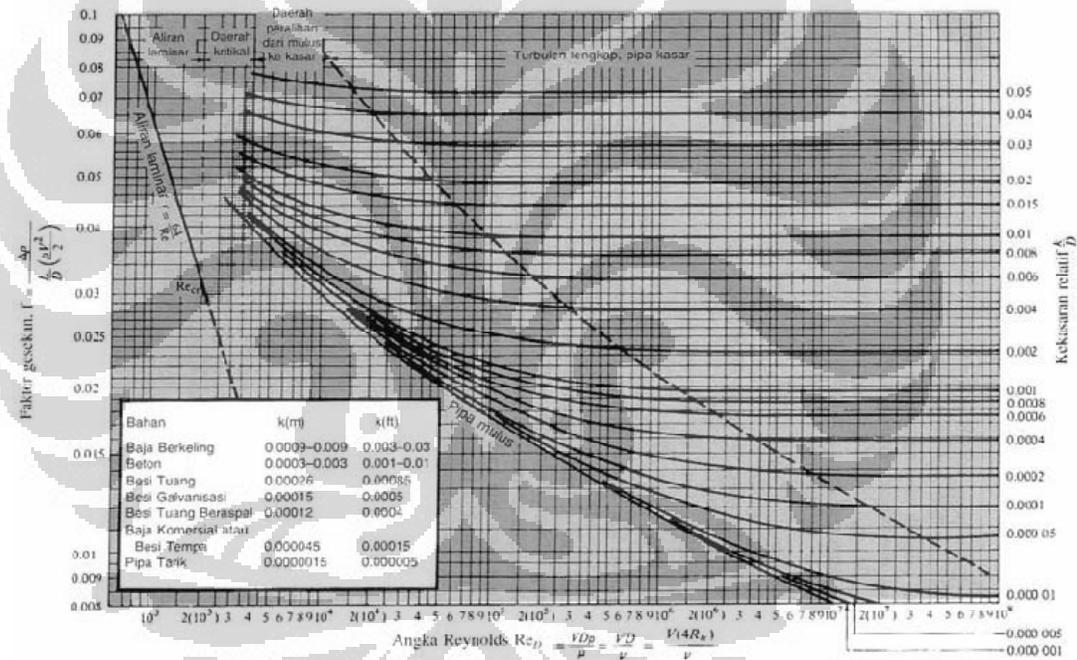
Pengaruh kekasaran permukaan pipa diteliti secara luas pertama kali oleh Nikuradse. Hasil dari percobaannya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat mempengaruhi aliran pada bilangan Reynolds tinggi, nilai koefisien gesek tergantung pada bilangan Reynolds. Von Karman menurunkan rumus untuk aliran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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 + 2 \log \frac{D}{e} \dots\dots\dots(8)$$

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

$$f = 0.3164 Re^{-\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(9)$$

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

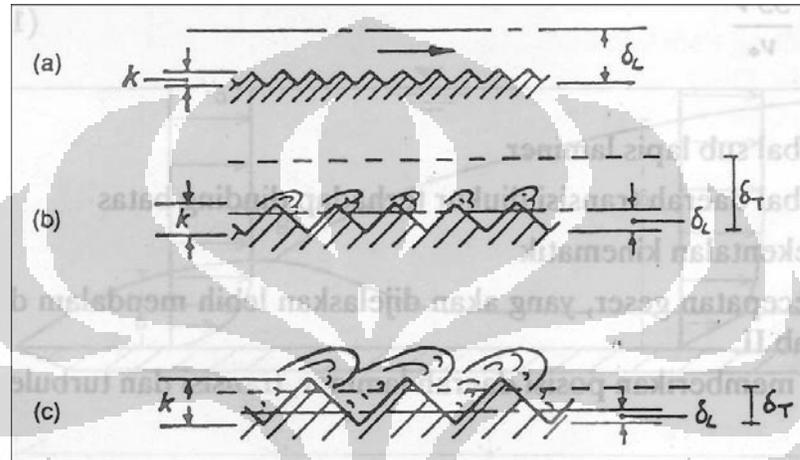


Gambar 2.5 Diagram Moody

2.2.4 Kekasaran Permukaan

Pada zat cair ideal, aliran melalui bidang batas mempunyai distribusi kecepatan merata. Sedang pada zat cair riil, karena adanya pengaruh kekentalan, kecepatan di daerah dekat bidang batas mengalami perlambatan dan pada bidang batas kecepatan adalah nol. Lapisan zat cair di dekat bidang batas di mana pengaruh kekentalan dominan disebut dengan lapis batas.

Konsep adanya sub lapis laminar di dalam lapis batas pada aliran turbulen dapat digunakan untuk menjelaskan perilaku kekasaran permukaan. Apabila permukaan bidang batas dibesarkan, akan terlihat bahwa permukaan tersebut tidak halus seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6 Tinggi efektif ketidakteraturan permukaan yang membentuk kekasaran disebut dengan tinggi kekasaran k . Perbandingan antara tinggi kekasaran dan jari-jari hidraulic (k/R) atau diameter pipa (k/D) disebut dengan kekasaran relatif.



Gambar 2.6 Pengaruh Kekasaran Pada Sub Lapis

Pada gambar 2.6.a tinggi kekasaran lebih kecil dari sub lapis laminar ($k < \delta_L$) sehingga ketidakteraturan permukaan akan sedemikian kecil sehingga kekasaran akan seluruuhnya terendam di dalam lapis laminar. Dalam hal ini kekasaran tidak mempunyai pengaruh terhadap aliran di luar sub lapis laminar, dan permukaan batas tersebut dengan hidraulic licin.

Pada gambar 2.6.b tinggi kekasaran berada di daerah transisi ($\delta_L < k < \delta_T$), dan aliran adalah dalam kondisi transisi.

Pada gambar 2.6.c tinggi kekasaran berada di luar lapis transisi ($k > \delta_T$), maka kekasaran permukaan akan berpengaruh di daerah turbulen sehingga mempengaruhi aliran di daerah tersebut. Permukaan ini disebut hidraulic kasar.

Table dibawah menuliskan beberapa nilai kekasaran (k). Untuk pipa tua nilai k dapat jauh lebih besar dari pipa baru, yang tergantung pada umur pipa dan sifat zat cair yang dialirkan.

Tabel 2.1 Kekasaran pada beberapa permukaan dinding pipa

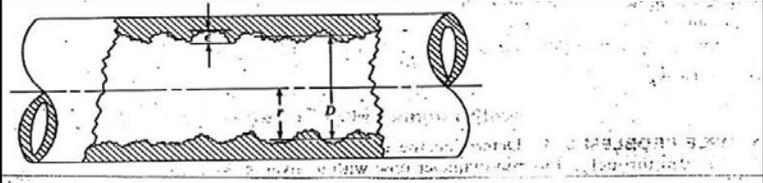


TABLE 9-1 Pipe roughness—Design Values

Material	Roughness, ϵ (m)	Roughness, ϵ (ft)
Glass, plastic	Smooth	Smooth
Copper, brass, lead (tubing)	1.5×10^{-6}	5×10^{-6}
Cast iron—uncoated	2.4×10^{-4}	8×10^{-4}
Cast iron—asphalt coated	1.2×10^{-4}	4×10^{-4}
Commercial steel or welded steel	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Wrought iron	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Riveted steel	1.8×10^{-3}	6×10^{-3}
Concrete	1.2×10^{-3}	4×10^{-3}

Tidaklah mudah untuk menentukan ketergantungan fungsional dari factor gesekan terhadap bilangan Reynolds dan kekasaran relatif. Kebanyakan dari informasi ini adalah hasil eksperimen-eksperimen yang dilakukan oleh J. Nikoradse pada tahun 1933 dan diperkuat oleh banyak peneliti lainnya. Satu kesulitan terletak pada penentuan kekasaran pipa. Nikoradse menggunakan pipa yang dikasarkan secara buatan dengan menempelkan butiran pasir yang diketahui ukurannya pada dinding pipa untuk tekanan yang diperlukan untuk menghasilkan laju aliran yang diinginkan diukur dan data tersebut kemudian dikonversikan menjadi faktor gesekan untuk kondisi bilangan Reynolds dan kekasaran relatif yang berkaitan.

Penelitian lainnya dilakukan oleh White A. tahun 1966 dengan menggunakan pipa yang dikasarkan dengan bentuk ulir menggunakan fluida air dan air yang ditambahkan variasi larutan polyox.

2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain :

2.3.1 Density

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

2.3.1.1 Densitas massa

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

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (10)$$

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

(18)

Dimana m adalah massa dan v adalah volume dengan unit density adalah kg/m^3 dan dengan dimensi ML^{-3} dimana standar tekanan $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dan temperature $T = 288.15 \text{ K}$, misalnya ρ air = 1000 kg/m^3 .

2.3.1.2 Berat spesifik

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

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots (11)$$

Dimana unit berat spesifik adalah N/m^3 dan dengan dimensi $\text{M L}^{-3} \text{T}^{-2}$ dengan nilai γ air adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

2.3.1.3 Densitas relatif

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

Pada fluida Non-Newtonian khususnya slurry dimana densitas dari fluida ini dinyatakan dalam bentuk persentase konsentrasi padatan (C_w) dengan persentase antara padatan dengan air sebagai pelarutnya seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} \dots\dots\dots (12)$$

2.3.2 Viskositas

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

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

a) Viskositas dinamik

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

b) Viskositas kinematik

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

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

2.3.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran, apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Reynolds menemukan bahwa aliran

selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian sehingga bilangan Re lebih kecil dari 2000. Untuk instalasi pipa biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Re dari 2000 sampai 4000 (Steeter, V.L., 1996). Di atas nilai 4000 akan menghasilkan aliran turbulen dan intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya Bilangan Reynolds. Untuk pipa bundar yang mengalir penuh berlaku persamaan :

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

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

d = Diameter dalam pipa [m]

ν = viskositas kinematik fluida [m^2/s]

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

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

2.4 PERSAMAAN FLUIDA

2.4.1 Laju Aliran Volume

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

$$Q = A V \dots\dots\dots (14)$$

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

$A_{1,2}$ = Luas penampang pipa [m]

Q = Debit aliran [m^2/s]

D = Diameter

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

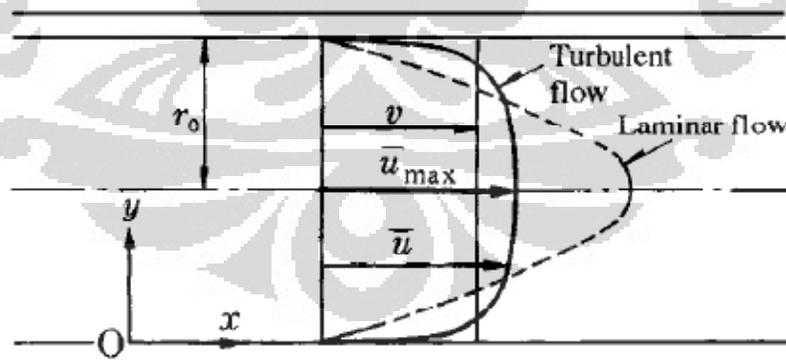
v = Volume aliran [m^3]

Q = Debit aliran [m^3/s]

t = waktu aliran [s]

2.4.2 Distribusi Kecepatan

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



Gambar 2.7 Distribusi Kecepatan *laminar dan turbulent* pada pipa bulat

Untuk aliran laminar maka berlaku persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} v_c \dots \dots \dots (17)$$

$$v = v_c \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = v_c \left(1 - \frac{(R-y)^2}{R^2} \right) \dots \dots \dots (18)$$

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]

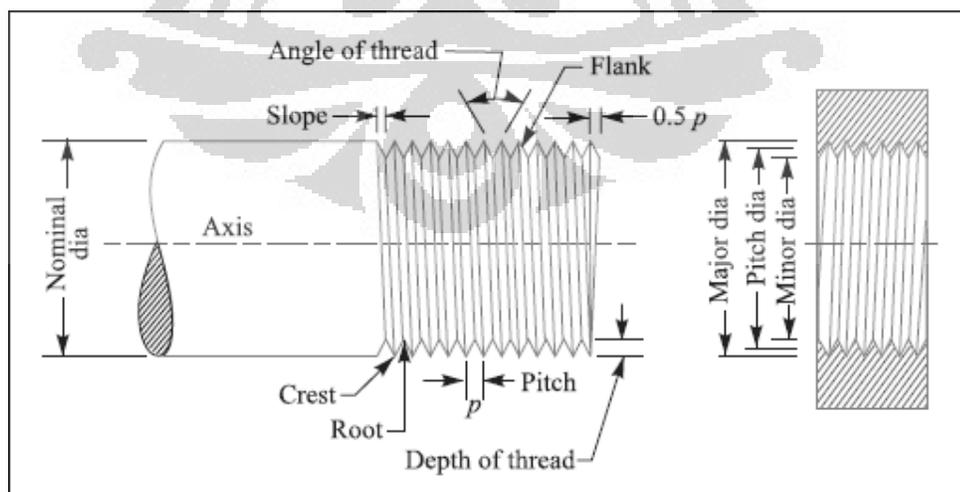
y = Jarak kecepatan aliran v dari permukaan dalam pipa [m]

R = Jari-jari pipa [m]

2.5 ULIR

2.5.1 Beberapa Istilah Penting Pada Ulir

Penggunaan kata istilah di atas tidak untuk menunjukkan adanya arti-arti lain dari ulir, melainkan untuk menunjukkan adanya dimensi-dimensi yang penting untuk diketahui setiap kali membicarakan masalah ulir. Beberapa dimensi yang penting dari ulir dapat dilihat pada Gambar berikut ini.

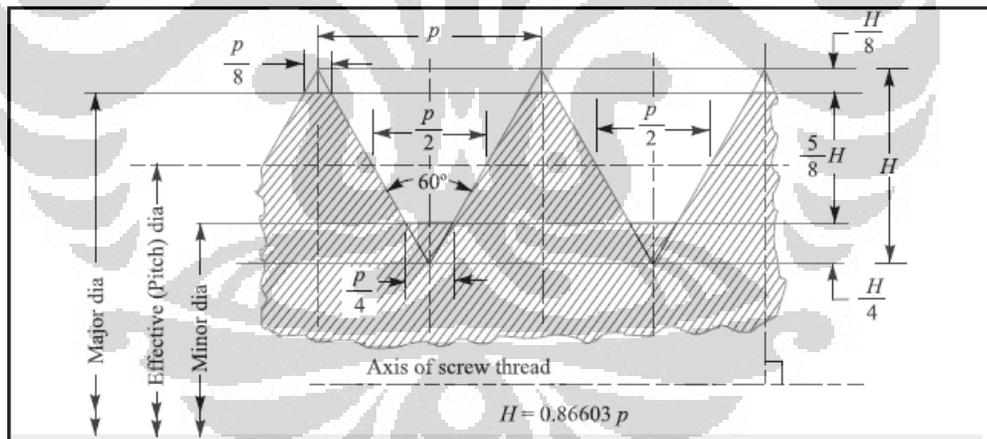


Gambar 2.8 Dimensi pada Ulir

- Diameter mayor (diameter luar) adalah diameter terbesar dari ulir.
- Diameter minor (diameter inti) adalah diameter terkecil dari ulir.
- Diameter pitch (diameter tusuk) adalah diameter semu yang letaknya di antara diameter luar dan diameter inti.
- Pitch adalah jarak antara puncak ulir, diukur dalam arah axial antara puncak yang satu ke puncak yang lain.
- Sudut ulir adalah sudut dari kedua sisi permukaan ulir yang satuannya dalam derajat. Untuk *American Standard* dan *ISO* sudut ulirnya adalah 60° .
- Kedalaman ulir adalah jarak antara diameter inti dengan diameter luar.

2.5.2 Standar Umum untuk Ulir

Yang akan dibicarakan disini adalah ulir menurut ISO Metrik. Ulir ISO metrik satuannya dalam milimeter. Keterangan selanjutnya dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



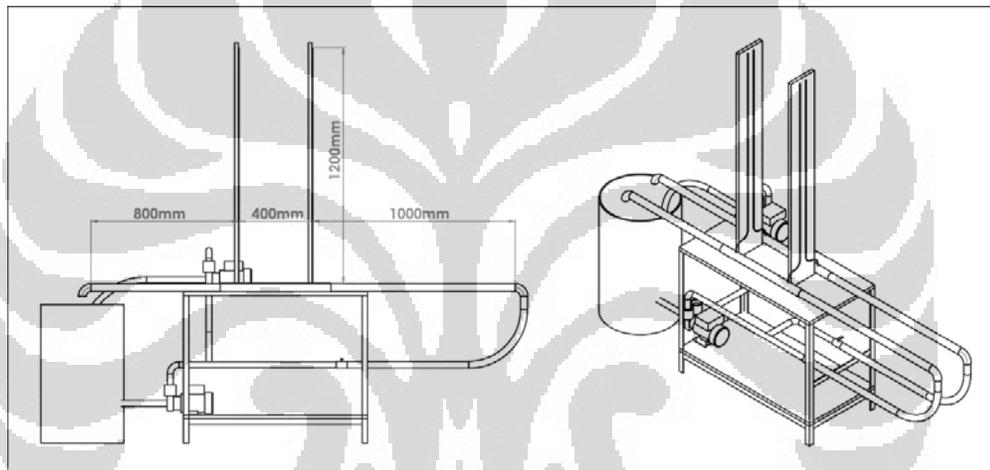
Gambar 2.9 Profil Dasar Ulir ISO Metrik

BAB III

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Rancangan Alat Uji

Desain alat yang digunakan pada penelitian kerugian tekanan dalam sistem perpipaan ini adalah desain alat yang sederhana. Alat yang dibuat di desain untuk mensirkulasikan fluida air, dari bak air ke pipa pengujian dengan bantuan pompa, dan untuk pengaturan debit aliran fluidanya menggunakan katup pengatur (valve) seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 Instalasi alat uji pipa bulat berulir dalam

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana alat uji adalah menggunakan dua buah pipa baja berdiameter 35,5 mm dengan panjang pipa 600 mm, pipa tersebut dikasarkan dengan dibuat ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08. Panjang "entry length" cukup untuk menjaga aliran berkembang-penuh (fully developed). Pipa ini dihubungkan dengan dua buah pompa sentrifugal yang diinstal secara paralel melalui pipa PVC dan selang air, dimana pompa digunakan untuk menyedot air yang ada didalam tangki untuk dialirkan dalam pipa. Fluida yang dipakai air. Debit aliran diatur dengan menggunakan katup. Bukaannya katup diatur sedikit demi sedikit mulai dari Re rendah menuju tinggi. Pada alat uji dipasang dua buah manometer, jarak antara tap 400 mm untuk mengukur kerugian

tekanan. Laju aliran diukur dengan mengumpulkan debit yang keluar dari pipa pada gelas ukur dalam periode waktu tertentu. Debit aliran fluida diatur dengan pengaturan gate valve untuk mengatur nilai Reynold Number. Temperatur fluida dijaga konstan 30 °C.

3.2 Set Up Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dirakit sendiri dengan mengacu pada referensi pembimbing, peneliti dan jurnal-jurnal terkait. Komponen-komponen yang digunakan pada alat pengujian ini adalah:

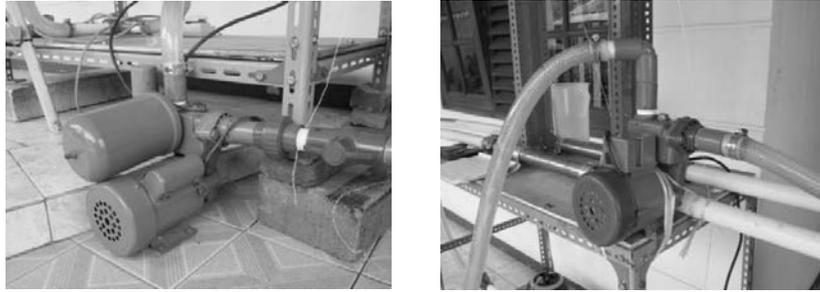
3.2.1 Rangka meja uji

Rangka meja uji digunakan sebagai chassis dan tempat meletakkan segala komponen dari alat uji. Rangka meja uji ini terbuat dari besi siku yang dirangkai dengan menggunakan baut. Alas meja untuk meletakkan pipa uji terbuat dari triplek.

3.2.2 Pompa

Pada prinsipnya pompa air ini digunakan untuk mensirkulasikan fluida air dari tangki penampungan kedalam test section pada pengujian. Oleh karena itu, pertimbangan pemilihan spesifikasi pompa didasarkan pada aliran fluida air murni yang dibutuhkan dalam proses pengujian. Digunakan 2 buah pompa yang diinstal secara paralel untuk mendapatkan debit yang lebih besar. Adapun spesifikasi dari pompa adalah sebagai berikut :

Spesifikasi	
Kapasitas maksimum	42 liter/menit
Head hisap (Suction Head)	9 meter
Head keluaran (Discharge Head)	24 meter
Total head	33 meter
Input – Output	1 Inci x 1 Inci
Daya	125 Watt



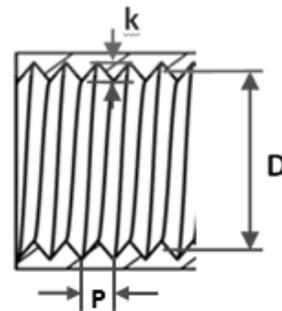
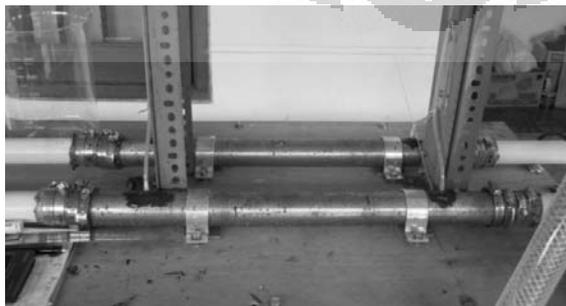
Gambar 3.2 Pompa Sentrifugal

3.2.3 Pipa Pengujian

Pipa pengujian yang digunakan adalah pipa baja bulat 1 ½ inci schedule 160 berulir dalam dengan dua macam pitch yang berbeda. Pipa yang digunakan sebanyak 2 pipa penguji yang terdiri dari:

1. Pipa baja bulat berulir dalam pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05. Diameter luar 45 mm dan diameter dalam hidrolis 35.5 mm dengan panjang 600 mm.
2. Pipa baja bulat berulir dalam pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08. Dengan diameter luar 45 mm dan diameter dalam hidrolis 35.5 mm dengan panjang 600 mm.

Sebelum dipasang pada rangkaian pipa pengujian terlebih dahulu dilubangi dengan diameter 3 mm pada jarak 100 mm dan 500 mm dari ujung pipa baja dimana lubang tersebut digunakan untuk pressure tap. Pipa ini diinstalasi sesuai gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing.



Gambar 3.3 Pipa Pengujian

3.2.4 Manometer

Manometer digunakan sebagai alat ukur ketinggian dengan cara mengukur beda ketinggian (Δh) antar tap pada pipa pengujian. Manometer dibuat dari selang akuarium transparan yang berdiameter dalam 4 mm dan dipasang pada tapping pada setiap pipa pengujian. Tapping dibuat sebanyak 2 lubang yang mempunyai jarak keduanya 400 mm dan dilekatkan ke pipa pengujian yang telah dilubangi. Manometer ini dipasang pada triplek yang sudah diberi ukuran dari penggaris, tinggi triplek tersebut 1.2 m dari permukaan meja penguji.

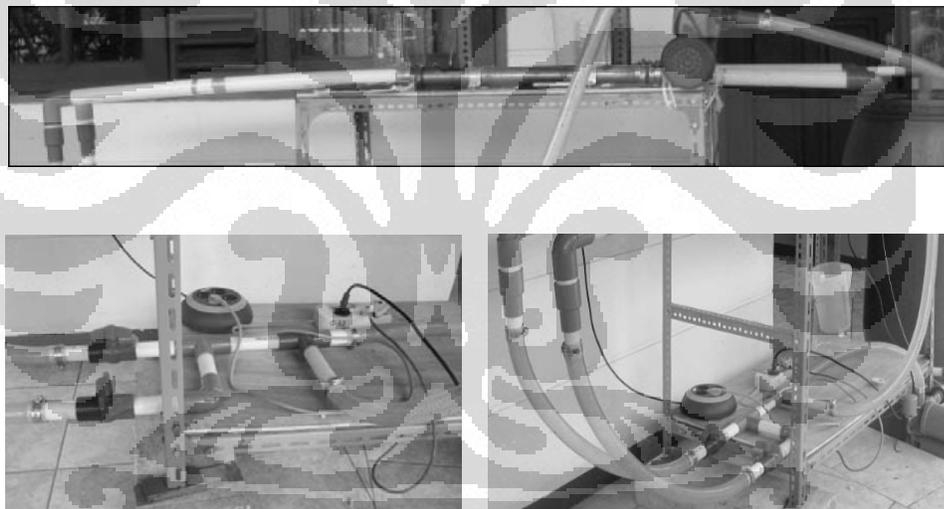


Gambar 3.4 Manometer

3.2.5 Rangkaian pipa PVC dan Selang

Pipa PVC digunakan untuk mengalirkan fluida dari tangki air sampai pada sambungan antara pipa PVC dengan pipa baja pengujian,

alasan menggunakan pipa PVC dikarenakan pipa PVC dianggap mempunyai permukaan dalam yang licin (smooth) sehingga kerugian karena losses dapat ditekan. Pipa PVC yang digunakan ada dua ukuran yaitu diameter 1 inci dan 1 ¼ inci. Diameter 1 inci digunakan dari tangki air sampai inlet suction pada pompa dan diameter 1 ¼ inci digunakan sebagai entry length sebelum masuk ke pipa ulir untuk menjaga aliran berkembang-penuh (fully developed) dan keluaran dari pipa ulir. Pipa reducer 1 ¼ ke ¾ dipasang pada ujung keluaran sebelum kembali ke tangki air. Selang ukuran 1 ¼ inch digunakan untuk menghubungkan inlet suction pompa dengan bak air dan rangkaian pipa PCV 1 inci. Pipa ini diinstalasi sesuai gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing.



Gambar 3.5 Rangkaian Pipa PVC dan Selang

3.2.6 Valve atau Katup

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



Gambar 3.6 Valve dengan busur derajat

3.2.7 Tangki Air

Tangki air berfungsi sebagai media penyimpan fluida selama uji coba, tangki air yang digunakan terbuat dari plastik sehingga tahan terhadap korosi. Fluida yang mengalir melalui pipa saluran akan kembali ke tangki melalui keluaran pipa.



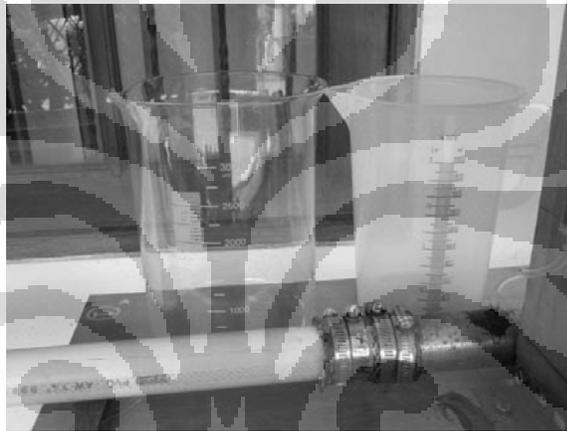
Gambar 3.7 Tangki Air

3.3 PERALATAN PENDUKUNG PENGUKURAN

Setelah peralatan dirangkai menjadi instalasi seperti pada gambar (3.1), maka baru diadakan penelitian. Pada penelitian diperlukan peralatan pendukung untuk mengukur variable-variabel lain, yaitu antara lain:

3.3.1 Gelas Ukur

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



Gambar 3.8 Gelas Ukur

3.3.2 Stop Watch

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



Gambar 3.9 Stop Watch

3.3.3 Termometer

Thermometer digunakan untuk mengetahui suhu fluida selama pengujian. Hal ini diperlukan karena suhu sangat berpengaruh terhadap viskositas fluida. Pada percobaan ini digunakan thermometer air raksa.



Gambar 3.10 Termometer

3.3.4 Tap Manometer

Perbedaan ketinggian, pressure drop ditentukan di bagian ini, dimana pressure tap dipasang dan direkatkan dengan lem epoxy pada lubang yang telah disiapkan di Pipa ulir. Tap plastic ini ini mempunyai ukuran $\text{Ø } 2,5 \text{ mm}$.



Gambar 3.11 Tap manometer

3.4. Metode Penelitian

3.4.1. Unit Pengujian

Unit pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi :

1. Unit Pengujian Langsung

Unit pengujian langsung adalah semua variabel yang diukur langsung pada saat pengujian, nilainya bisa langsung dapat diketahui tanpa diperlukan perhitungan lebih lanjut. Unit pengujian langsung terdiri dari pengukuran suhu ($^{\circ}\text{C}$), beda ketinggian (m), volume (m^3) dan waktu penampungan (sekon). Seluruh unit pengujian langsung digunakan sebagai input data untuk mendapatkan nilai pengujian tak langsung.

2. Unit Pengujian Tak Langsung

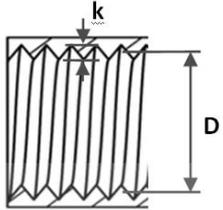
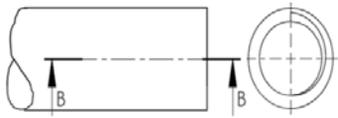
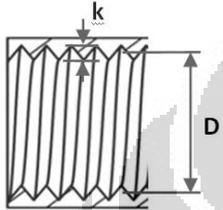
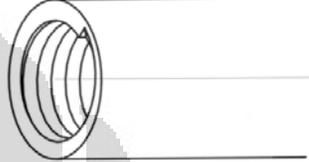
Unit pengujian tak langsung adalah semua variabel yang nilainya didapat dari perhitungan dan digunakan untuk bahan pengamatan atau analisa. Pada pengujian ini unit pengujian tak langsung terdiri dari debit (Q), kecepatan (v), bilangan Reynolds (Re) dan koefisien gesek (f).

3.4.2. Persiapan Pengujian

Persiapan yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah:

1. Menyiapkan tempat untuk ruang pengujian. Tempat untuk ruang pengujian tidak sempit dan cukup luas supaya pengujian dapat dilakukan dengan baik.
2. Pengujian terdiri dari 2 jenis pengujian yaitu:
 - Pengujian dengan menggunakan fluida air yang dialirkan ke pipa baja bulat berulir dalam pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05
 - Pengujian dengan menggunakan fluida air yang dialirkan ke pipa baja bulat berulir dalam pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08.
3. Kedua pipa pengujian dilakukan secara bergantian.

Tabel 3.1 Penampang pipa kasar berupa ulir (k/D)

Penampang Pipa (Potongan B-B)	D Mayor (mm)	D Minor (mm)	D Hidrolis (mm)	k (mm)	k/D	Gambar Pipa
 Pipa Uji 1 Pitch 4	37,5	33,5	35,5	2,0	0,05	
 Pipa Uji 2 Pitch 5	38,5	33,0	35,5	2,75	0,08	

3.5 PROSEDUR PENGUJIAN

Sebelum melaksanakan pengujian selalu dilakukan pengecekan kebocoran rangkaian dengan cara mensirkulasi fluida selama 2-3 menit sebelum pengambilan data.

Pengujian dilakukan dengan fluida kerja yang digunakan adalah air.

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mengisi tanki dengan fluida air murni.
2. Memasang termometer pada tangki untuk mengetahui temperatur fluida.
3. Membuka semua katup yang ada agar fluida bisa mengalir dan mencapai keadaan stabil.
4. Menghidupkan dua buah pompa, sehingga fluida dapat mengalir melalui instalasi pipa sehingga terjadi sirkulasi aliran fluida.
5. Buka ball valve pipa yang diuji dan tutup ball valve pipa yang tidak diuji.
6. Melihat temperatur pada termometer yang dipasang pada tangki.
7. Mengamati sirkulasi kecepatan fluida hingga aliran sudah stabil, kondisi ini dapat dilihat dari perbedaan pressure dan tidak terdapatnya bubble pada keluaran fluida. Pastikan tidak ada udara yang terjebak pada pipa manometer dan ketinggian head sudah tidak berubah lagi (sudah steady) agar pembacaan tidak terganggu.

8. Memulai pengambilan data dengan mengatur bukaan katup dari minimal sampai maksimal full open dan melihat/mencatat tinggi masing-masing manometer dan perbedaan ketinggian pada manometer pertama dan manometer kedua.
9. Mengukur debit aliran dengan cara menampung fluida yang mengalir keluar dari pipa uji ke dalam tangki menggunakan gelas ukur dalam volume tertentu selama ± 3 detik dengan menggunakan stop watch.
10. Melakukan langkah ke-7 sampai langkah ke-9 dengan pembukaan katup utama diperbesar dari bukaan katup pertama hingga sebesar 90° .
11. Mencatat semua hasil yang didapat untuk melakukan pengolahan data serta analisis hasil.
12. Untuk pengambilan data berikutnya adalah dengan mengalirkan fluida ke pipa penguji dengan pitch ulir berbeda proses pengambilan data sama dengan proses pengambilan awal.
13. Matikan pompa dan rapihkan alat-alat.

3.6 METODE PENGOLAHAN DATA

Untuk kemudahan pengambilan data, maka diambil asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Fluida yang digunakan termasuk kedalam fluida incompressible (tak mampu mampat) sehingga persamaan yang digunakan adalah persamaan untuk aliran tak mampu mampat.
2. Fluida yang digunakan adalah fluida yang termasuk fluida Newtonian.
3. Fluida yang mengalir pada pipa tidak mengalami kebocoran sehingga volume dalam rangkaian dianggap tetap.

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

1. Menghitung nilai debit (Q) yang berdasarkan dari persamaan berikut ini:

$$Q = v/t$$

Dimana Q : Debit Fluida (m^3/s)

v : Volume fluida (m^3)

t : waktu (s)

- Menghitung nilai kecepatan (V) yang diturunkan dari persamaan kontinuitas berikut ini

$$Q = V \cdot A, \text{ maka } V = Q/A$$

Dimana : Q = debit aliran (m³/s).

V = kecepatan aliran (m/s).

$$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)} \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

- Menghitung bilangan Reynolds dari unit pengujian langsung yang dihitung dari persamaan berikut ini:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$$

Dimana: Re : Bilangan Reynolds.

D : Diameter hidrolis pipa (m)

ν : viskositas kinematika air pada temperature tertentu (m²/s)

V : kecepatan aliran (m/s).

- Gradien tekanan sepanjang pipa yang mempunyai penampang serupa sepanjang pipa pengujian, persamaan yang digunakan adalah persamaan Darcy-Weisbach berikut ini:

$$f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot \Delta H}{l \cdot V^2}$$

Dimana: f : koefisien gesek.

dH : beda ketinggian manometer (m).

g : percepatan gravitasi (m/s²).

D : diameter dalam hidrolis pipa pengujian (m).

V : Kecepatan aliran fluida (m/s).

L : Jarak antar manometer (m).

- Membuat plot hasil perhitungan bilangan Reynolds (Re) dan koefisien gesek (f) menggunakan program software Origin.
- Membuat plot hasil perhitungan sesuai dengan masing-masing pipa dan dibandingkan.

BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

4.1 PERHITUNGAN DATA

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa perbedaan ketinggian manometer (ΔH), volume fluida (v), waktu yang diperlukan untuk mencapai volume tertentu dan temperatur fluida (T). Dari perbedaan ketinggian nantinya didapat perbedaan tekanan (Δp), dari volume dan waktu nantinya didapat debit aliran dan kecepatan aliran fluida. Dari temperatur fluida didapat viskositas dari fluida tersebut. Dari data-data yang ada nantinya digunakan untuk menghitung nilai koefisien gesek yang terjadi dan Bilangan Reynolds.

4.1.1 Perhitungan Data Pipa Uji ulir dalam dengan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 Menggunakan Air Murni

4.1.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk Air Murni pada $T = 30^\circ \text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Tabel 4.1 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	H1 (mm)	H2 (mm)	ΔH 12 (mm)	ΔH 12 (m)
1	70	66	4	0.004
2	167	161	6	0.006
3	270	260	10	0.010
4	334	323	11	0.011
5	400	387	13	0.013
6	515	500	15	0.015
7	595	577	18	0.018
8	725	705	20	0.020
9	870	847	23	0.023
10	1054	1028	26	0.026

Dengan :

H1 = ketinggian manometer pertama

H2 = ketinggian manometer kedua

ΔH 12 = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, dimana :

$\rho = 995.7 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 30^\circ \text{ C}$

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

Tabel 4.2 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	ΔH 12 (m)	Δp 12 (Pa)
1	0.004	39.071268
2	0.006	58.606902
3	0.010	97.67817
4	0.011	107.445987
5	0.013	126.981621
6	0.015	146.517255
7	0.018	175.820706
8	0.020	195.35634
9	0.023	224.659791
10	0.026	253.963242

4.1.1.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V)

Kita mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan dalam satuan (ml).

Tabel 4.3 Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	Waktu (t) (s)	Volume (v) (ml)	Volume (v) (m ³)	Debit (Q) (m ³ /s)
1	3.00	820	0.00082	0.000273333
2	3.01	1010	0.00101	0.000335548
3	3.00	1300	0.0013	0.000433333
4	3.00	1410	0.00141	0.00047
5	3.00	1560	0.00156	0.00052
6	3.00	1700	0.0017	0.000566667
7	3.00	1880	0.00188	0.000626667
8	3.00	2000	0.002	0.000666667
9	3.00	2230	0.00223	0.000743333
10	3.00	2380	0.00238	0.000793333

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) (m³/s) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$

Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $V = \frac{Q}{A}$ didapat setelah kita mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.4 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	D in hidrolis (m)	A pipa (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)
1	0.0355	0.0009898	0.000273333	0.276149966
2	0.0355	0.0009898	0.000335548	0.339005914
3	0.0355	0.0009898	0.000433333	0.437798727
4	0.0355	0.0009898	0.00047	0.474843235
5	0.0355	0.0009898	0.00052	0.525358473
6	0.0355	0.0009898	0.000566667	0.572506028
7	0.0355	0.0009898	0.000626667	0.633124313

8	0.0355	0.0009898	0.000666667	0.673536503
9	0.0355	0.0009898	0.000743333	0.750993201
10	0.0355	0.0009898	0.000793333	0.801508439

Dengan :

D in = Diameter dalam hidrolis pipa (m) yang digunakan adalah 0.035 m

A = Luas penampang pipa (m²) didapat dari persamaan $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.1.3 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dapat kita hitung dengan persamaan Darcy dan Weisbach, persamaannya yaitu : $f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot \Delta H}{L \cdot V^2}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (L), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (**D in**).

Tabel 4.5 Data Faktor Gesekan Aliran (f) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	ΔH 12 (m)	D in (m)	L 12 (m)	Kecepatan (V) (m/s)	f 12
1	0.004	0.0355	0.4	0.276149966	0.091335028
2	0.006	0.0355	0.4	0.339005914	0.090908411
3	0.010	0.0355	0.4	0.437798727	0.090848629
4	0.011	0.0355	0.4	0.474843235	0.084949248
5	0.013	0.0355	0.4	0.525358473	0.082016123
6	0.015	0.0355	0.4	0.572506028	0.079689022
7	0.018	0.0355	0.4	0.633124313	0.078191922
8	0.020	0.0355	0.4	0.673536503	0.076767091
9	0.023	0.0355	0.4	0.750993201	0.071010601
10	0.026	0.0355	0.4	0.801508439	0.070473285

Dengan :

ΔH_{12} = Perbedaan ketinggian manometer pertama dengan kedua (m)

L_{12} = Jarak antara manometer pertama dengan kedua (m)

D_{in} = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

f_{12} = faktor gesekan yang terjadi antara manometer pertama dengan kedua

4.1.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$$

, dimana nilai dari Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila

mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D_{in}), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.6 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	T (°C)	D_{in} (m)	Kecepatan (V) (m/s)	ν (m ² /s)	Re
1	30	0.0355	0.276149966	8.009E-07	12240
2	30	0.0355	0.339005914	8.009E-07	15026
3	30	0.0355	0.437798727	8.009E-07	19405
4	30	0.0355	0.474843235	8.009E-07	21047
5	30	0.0355	0.525358473	8.009E-07	23287
6	30	0.0355	0.572506028	8.009E-07	25376
7	30	0.0355	0.633124313	8.009E-07	28063
8	30	0.0355	0.673536503	8.009E-07	29855
9	30	0.0355	0.750993201	8.009E-07	33288
10	30	0.0355	0.801508439	8.009E-07	35527

Dengan :

T = Temperatur fluida (°C)

D_{in} = Diameter dalam pipa (m)

- V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
 ν = Viskositas kinematis (m^2/s), berdasarkan fungsi temperatur fluida
 Re = Bilangan Reynolds

4.1.2 Perhitungan Data Pipa Uji ulir dalam dengan pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 Menggunakan Air Murni

4.1.2.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk Air Murni pada $T = 30^\circ \text{C}$

Perhitungan perbedaan tekanan (Δp) dari data perbedaan ketinggian (ΔH) fluida pada manometer. Untuk ketinggian manometer didapat dalam satuan m.

Tabel 4.7 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	H1 (mm)	H2 (mm)	ΔH 12 (mm)	ΔH 12 (m)
1	52	44	8	0.008
2	142	131	11	0.011
3	210	195	15	0.015
4	262	242	20	0.020
5	374	350	24	0.024
6	519	490	29	0.029
7	587	554	33	0.033
8	690	653	37	0.037
9	850	811	39	0.039
10	1045	998	47	0.047

Dengan :

H1 = ketinggian manometer pertama

H2 = ketinggian manometer kedua

ΔH 12 = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

Dari perbedaan ketinggian (ΔH) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan dengan persamaan $\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H$, dimana :

$\rho = 995.7 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 30^\circ \text{C}$

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

Tabel 4.8 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	ΔH 12 (m)	Δp 12 (Pa)
1	0.008	78.142536
2	0.011	107.445987
3	0.015	146.517255
4	0.020	195.35634
5	0.024	234.427608
6	0.029	283.266693
7	0.033	322.337961
8	0.037	361.409229
9	0.039	380.944863
10	0.047	459.087399

4.1.1.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V)

Kita mendapatkan debit fluida dari volume fluida dan waktu yang diperlukan, fluida untuk mencapai volume tertentu. Waktu yang didapat dengan menggunakan stopwatch dalam satuan (s), dan volume yang didapat dari percobaan dalam satuan (ml).

Tabel 4.9 Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	Waktu (t) (s)	Volume (v) (ml)	Volume (v) (m ³)	Debit (Q) (m ³ /s)
1	3.00	740	0.00074	0.000246667
2	3.00	880	0.00088	0.000293333
3	3.03	1070	0.00107	0.000353135
4	3.03	1260	0.00126	0.000415842
5	3.03	1480	0.00148	0.000488449
6	3.03	1670	0.00167	0.000551155
7	3.03	1880	0.00188	0.000620462
8	3.00	1980	0.00198	0.00066
9	3.00	2120	0.00212	0.000706667
10	3.00	2370	0.00237	0.00079

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) (m³/s) didapat dengan menggunakan persamaan $Q = \frac{v}{t}$

Untuk mencari kecepatan aliran fluida (V) dengan menggunakan persamaan $V = \frac{Q}{A}$ didapat setelah kita mendapatkan debit (Q) aliran.

Tabel 4.10 Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	D in hidrolis (m)	A pipa (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)
1	0.0355	0.0009898	0.000246667	0.249208506
2	0.0355	0.0009898	0.000293333	0.296356061
3	0.0355	0.0009898	0.000353135	0.356774286
4	0.0355	0.0009898	0.000415842	0.42012673
5	0.0355	0.0009898	0.000488449	0.493482191
6	0.0355	0.0009898	0.000551155	0.556834634
7	0.0355	0.0009898	0.000620462	0.626855756
8	0.0355	0.0009898	0.00066	0.666801138
9	0.0355	0.0009898	0.000706667	0.713948693
10	0.0355	0.0009898	0.00079	0.798140756

Dengan :

D in = Diameter dalam hidrolis pipa (m) yang digunakan adalah 0.035 m

A = Luas penampang pipa (m²) didapat dari persamaan $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.1.3 Perhitungan Faktor Gesekan (f)

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa dapat kita hitung dengan persamaan Darcy dan Weisbach, persamaannya yaitu : $f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot \Delta H}{L \cdot V^2}$ dari persamaan tersebut nilai f bisa didapat jika kita mempunyai nilai-nilai dari : perbedaan

ketinggian (ΔH), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D in).

Tabel 4.11 Data Faktor Gesekan Aliran (f) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	ΔH 12 (m)	D in (m)	L 12 (m)	Kecepatan (V) (m/s)	f 12
1	0.008	0.0355	0.4	0.249208506	0.224301216
2	0.011	0.0355	0.4	0.296356061	0.218088327
3	0.015	0.0355	0.4	0.356774286	0.205197248
4	0.020	0.0355	0.4	0.42012673	0.197304383
5	0.024	0.0355	0.4	0.493482191	0.171607253
6	0.029	0.0355	0.4	0.556834634	0.16285942
7	0.033	0.0355	0.4	0.626855756	0.146233229
8	0.037	0.0355	0.4	0.666801138	0.144902682
9	0.039	0.0355	0.4	0.713948693	0.133228754
10	0.047	0.0355	0.4	0.798140756	0.128471338

Dengan :

ΔH 12 = Perbedaan ketinggian manometer pertama dengan kedua (m)

L 12 = Jarak antara manometer pertama dengan kedua (m)

D in = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

f 12 = faktor gesekan yang terjadi antara manometer pertama dengan kedua

4.1.1.4 Perhitungan Bilangan Reynolds (Re)

Bilangan Reynolds didapat dengan menggunakan persamaan

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu}$$

, dimana nilai dari Bilangan Reynolds (Re) dapat dihitung bila

mempunyai nilai-nilai dari : kecepatan aliran (V), massa jenis (ρ), diameter dalam pipa (D in), viskositas dinamik (μ) atau viskositas kinematik (ν) berdasarkan temperatur (T).

Tabel 4.12 Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	T (°C)	D in (m)	Kecepatan (V) (m/s)	ν (m ² /s)	Re
1	30	0.0355	0.249208506	8.009E-07	11046
2	30	0.0355	0.296356061	8.009E-07	13136
3	30	0.0355	0.356774286	8.009E-07	15814
4	30	0.0355	0.42012673	8.009E-07	18622
5	30	0.0355	0.493482191	8.009E-07	21874
6	30	0.0355	0.556834634	8.009E-07	24682
7	30	0.0355	0.626855756	8.009E-07	27785
8	30	0.0355	0.666801138	8.009E-07	29556
9	30	0.0355	0.713948693	8.009E-07	31646
10	30	0.0355	0.798140756	8.009E-07	35378

Dengan :

T = Temperatur fluida (°C)

D in = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

ν = Viskositas kinematis (m²/s), berdasarkan fungsi temperatur fluida

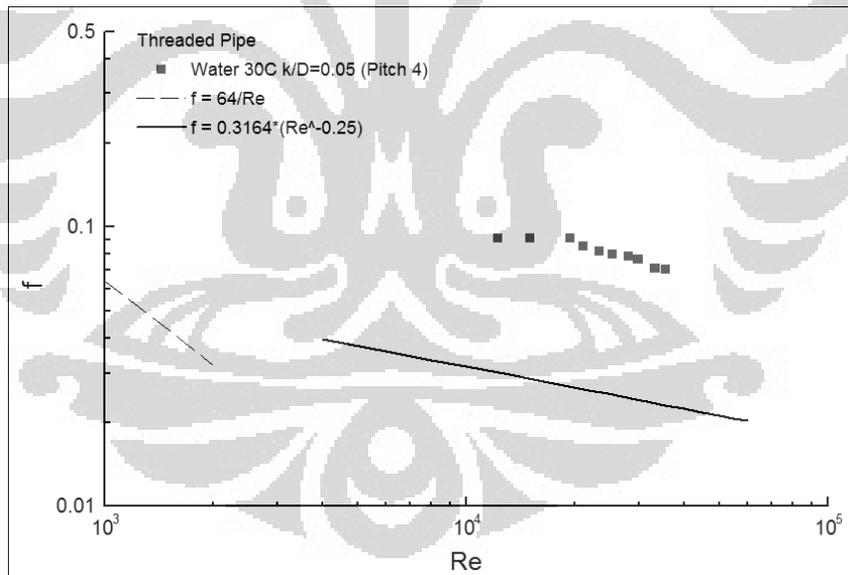
Re = Bilangan Reynolds

4.2 ANALISIS DATA

Dari tabel 4.13 dibawah maka kita dapat menggambarkan grafik koefisien gesek (f) dengan Bilangan Reynold (Re) pada percobaan air murni pada pipa pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 sebagai berikut :

**Tabel 4.13 Aliran Fluida Air Pada Pipa Pengujian Pitch 4
(nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05**

Bukaan Katup	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)	Re	ΔH 12 (m)	f 12
1	0.000273333	0.276149966	12240	0.004	0.091335028
2	0.000335548	0.339005914	15026	0.006	0.090908411
3	0.000433333	0.437798727	19405	0.010	0.090848629
4	0.00047	0.474843235	21047	0.011	0.084949248
5	0.00052	0.525358473	23287	0.013	0.082016123
6	0.000566667	0.572506028	25376	0.015	0.079689022
7	0.000626667	0.633124313	28063	0.018	0.078191922
8	0.000666667	0.673536503	29855	0.020	0.076767091
9	0.000743333	0.750993201	33288	0.023	0.071010601
10	0.000793333	0.801508439	35527	0.026	0.070473285



**Gambar 4.1 Grafik Re-f Pipa Pengujian Pitch 4
(nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05**

Pada gambar 4.1 terlihat pengambilan data dimulai pada bilangan Reynold number (Re) $1,2 \times 10^4$ dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,09. Semakin bertambahnya bilangan Reynold (Re), maka nilai koefisien geseknya (f) akan

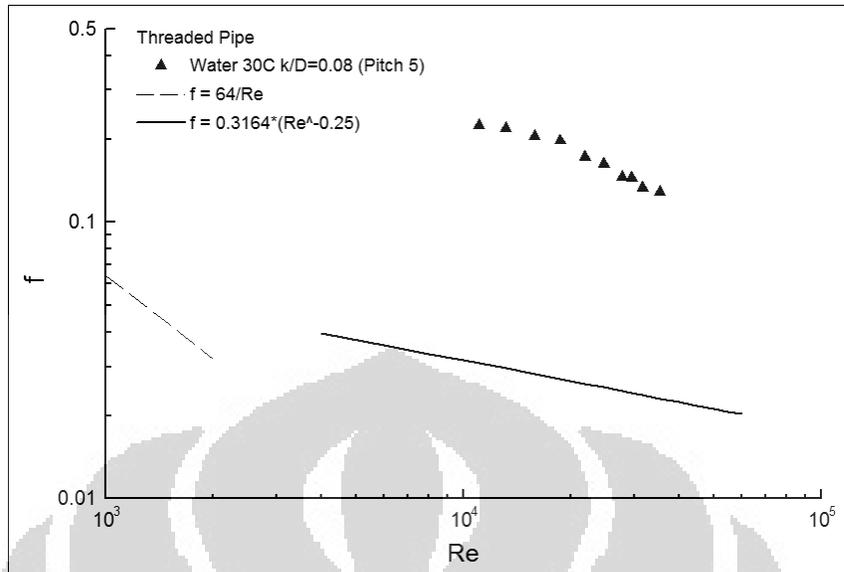
semakin berkurang sampai pada bilangan *Reynold*nya (Re) $3,5 \times 10^4$ dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,07.

Dilihat dari nilai bilangan *Reynold* (Re) dari $1,2 \times 10^4$ sampai dengan $3,5 \times 10^4$, bilangan *Reynold* lebih besar dari 4000. Dan bilangan *Reynold* yang lebih dari 4000 termasuk kedalam aliran turbulen. Bilangan *Reynold* (Re) sendiri dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida air (V), diameter dalam (D) pipa pengujian, dan viskositas kinematik (ν) dari fluida air. Semakin bertambahnya kecepatan aliran fluida air (V), maka nilai bilangan *Reynold* (Re) akan bertambah. Ini dapat dibuktikan bahwa dimulai pada kecepatan aliran fluida air (V) 0,276 m/s dengan nilai bilangan *Reynold* (Re) $1,2 \times 10^4$ sampai pada kecepatan aliran fluida air (V) 0,801 m/s dengan nilai bilangan *Reynold* (Re) $3,5 \times 10^4$.

Kecepatan aliran fluida air (V) dipengaruhi oleh debit fluida air (Q) dan luas penampang pipa (A). Semakin bertambahnya debit fluida air (Q), maka nilai kecepatan aliran fluida (V) akan bertambah. Ini dapat dibuktikan bahwa dimulai pada debit fluida air (Q) $2,73 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai kecepatan aliran fluida air (V) 0,276 m/s sampai pada debit fluida air (Q) $8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan kecepatan aliran fluida air (V) 0,801 m/s.

**Tabel 4.14 Aliran Fluida Air Pada Pipa Pengujian Pitch 5
(nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08**

Bukaan Katup	Debit (Q) (m^3/s)	Kecepatan (V) (m/s)	Re	ΔH 12 (m)	f 12
1	0.000246667	0.249208506	11046	8	0.224301216
2	0.000293333	0.296356061	13136	11	0.218088327
3	0.000353135	0.356774286	15814	15	0.205197248
4	0.000415842	0.42012673	18622	20	0.197304383
5	0.000488449	0.493482191	21874	24	0.171607253
6	0.000551155	0.556834634	24682	29	0.16285942
7	0.000620462	0.626855756	27785	33	0.146233229
8	0.00066	0.666801138	29556	37	0.144902682
9	0.000706667	0.713948693	31646	39	0.133228754
10	0.00079	0.798140756	35378	47	0.128471338



**Gambar 4.2 Grafik Re - f Pipa Pengujian Pitch 5
(nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08**

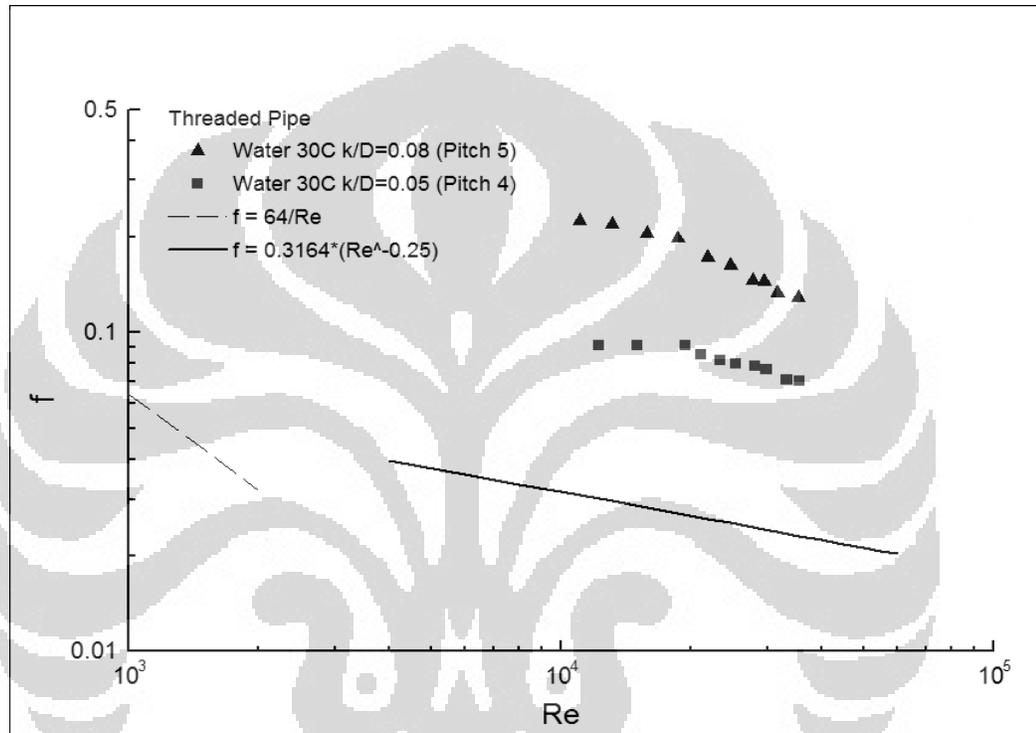
Pada gambar 4.2 terlihat pengambilan data dimulai pada bilangan Reynold number (Re) $1,1 \times 10^4$ dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,22. Semakin bertambahnya bilangan Reynold (Re), maka nilai koefisien geseknya (f) akan semakin berkurang sampai pada bilangan *Reynold*nya (Re) $3,5 \times 10^4$ dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,13.

Dilihat dari nilai bilangan *Reynold* (Re) dari $1,1 \times 10^4$ sampai dengan $3,5 \times 10^4$ bilangan *Reynold* lebih besar dari 4000. Dan bilangan *Reynold* yang lebih dari 4000 termasuk kedalam aliran turbulen. Bilangan *Reynold* (Re) sendiri dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida air (V), diameter dalam (D) pipa pengujian, dan viskositas kinematik (ν) dari fluida air. Semakin bertambahnya kecepatan aliran fluida air (V), maka nilai bilangan *Reynold* (Re) akan bertambah. Ini dapat dibuktikan bahwa dimulai pada kecepatan aliran fluida air (V) 0,249 m/s dengan nilai bilangan *Reynold* (Re) $1,1 \times 10^4$ sampai pada kecepatan aliran fluida air (V) 0,798 m/s dengan nilai bilangan *Reynold* (Re) $3,5 \times 10^4$.

Kecepatan aliran fluida air (V) dipengaruhi oleh debit fluida air (Q) dan luas penampang pipa (A). Semakin bertambahnya debit fluida air (Q), maka nilai kecepatan aliran fluida (V) akan bertambah. Ini dapat dibuktikan bahwa dimulai pada debit fluida air (Q) $2,46 \times 10^{-4}$ m³/s dengan nilai kecepatan aliran fluida air

(V) 0,249 m/s sampai pada debit fluida air (Q) 8×10^{-4} m³/s dengan kecepatan aliran fluida air (V) 0,79 m/s.

Berikut akan kita bahas seluruh data dari pengujian pipa berulir dalam pitch 4 dan pitch 5 menggunakan satu grafik gabungan agar efek dari perbedaan pitch ini bisa terlihat perbedaannya. Grafik penggabungannya adalah sebagai berikut.

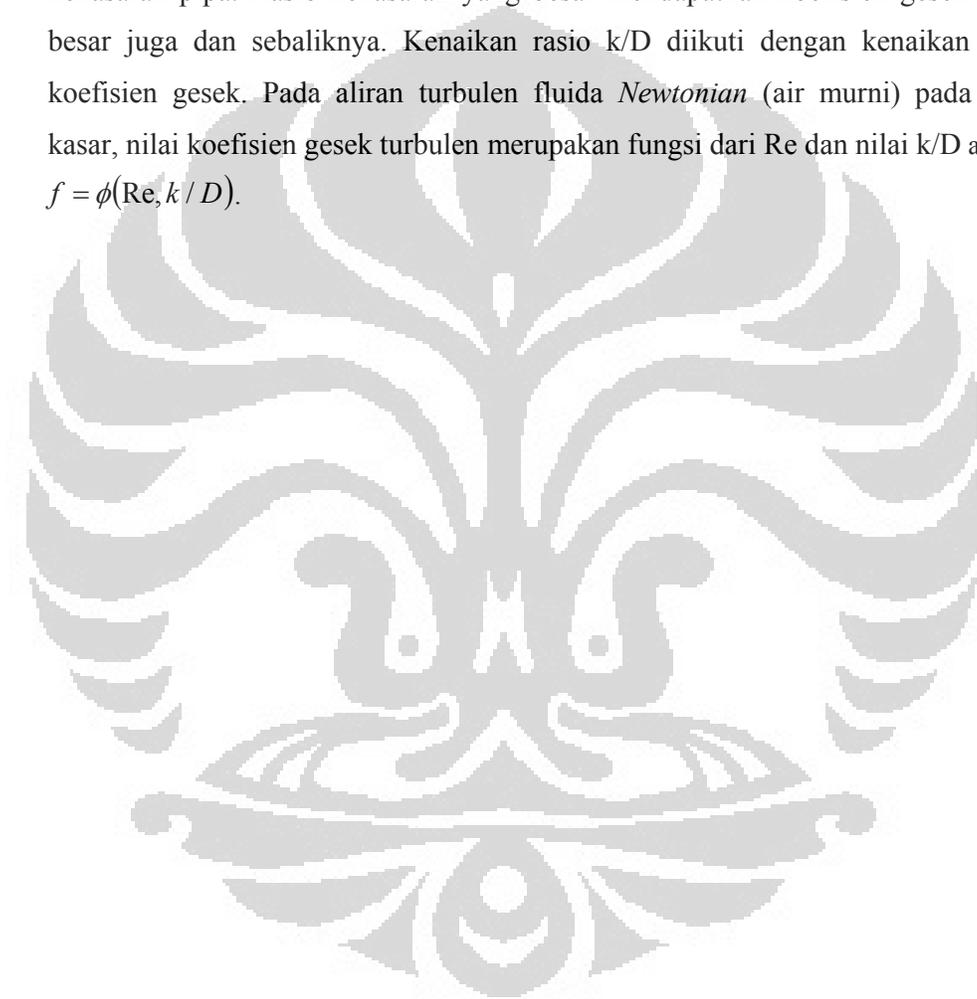


Gambar 4.3 Gabungan Grafik Re - f Pipa Pengujian Ulir Pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan Pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08

Pada gambar 4.3 terlihat perbedaan grafik Re - f antara aliran fluida air pada pipa pengujian pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 dan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08. Pada pipa pengujian pitch 4 dimulai dari bilangan *Reynold* (Re) $1,2 \times 10^4$ dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,09 sampai dengan bilangan *Reynold* (Re) $3,5 \times 10^4$, dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,07. Sedangkan pada pipa pengujian pitch 5 dimulai dari bilangan *Reynold* (Re) $1,1 \times 10^4$ dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,22 sampai dengan bilangan *Reynold* number (Re) $3,5 \times 10^4$, dengan nilai koefisien geseknya (f) 0,13.

Dari hasil data dan grafik menunjukkan bahwa dengan pengujian pada pipa pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 menghasilkan koefisien gesek yang lebih besar dibandingkan dengan koefisien gesek pada pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05. Perbedaan nilai koefisien gesek rata-rata dari kedua pipa uji tersebut adalah sebesar 112%.

Koefisien gesek pada aliran turbulen terlihat meningkat sebanding dengan kekasaran pipa. Rasio kekasaran yang besar mendapatkan koefisien gesek yang besar juga dan sebaliknya. Kenaikan rasio k/D diikuti dengan kenaikan nilai koefisien gesek. Pada aliran turbulen fluida *Newtonian* (air murni) pada pipa kasar, nilai koefisien gesek turbulen merupakan fungsi dari Re dan nilai k/D atau $f = \phi(Re, k/D)$.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada pipa pengujian pipa kasar ulir pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 dan pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05 alirannya termasuk kedalam aliran turbulen.
2. Pengujian pada pipa pitch 5 (nilai kekasaran (k) 2,75 mm) k/D 0,08 menghasilkan koefisien gesek yang lebih besar dibandingkan dengan koefisien gesek pada pitch 4 (nilai kekasaran (k) 2,0 mm) k/D 0,05.
3. Koefisien gesek pada aliran turbulen terlihat meningkat sebanding dengan kekasaran pipa. Rasio kekasaran yang besar mendapatkan koefisien gesek yang besar juga dan sebaliknya. Kenaikan rasio k/D diikuti dengan kenaikan nilai koefisien gesek. Semakin kasar permukaan pipa maka koefisien gesek juga semakin besar.
4. Koefisien gesek terlihat menurun seiring dengan kenaikan Bilangan Reynold.
5. Nilai koefisien gesek turbulen merupakan fungsi dari Re dan nilai k/D.
6. Perbedaan nilai koefisien gesek rata-rata dari kedua pipa uji tersebut adalah sebesar 112%.

5.2 SARAN

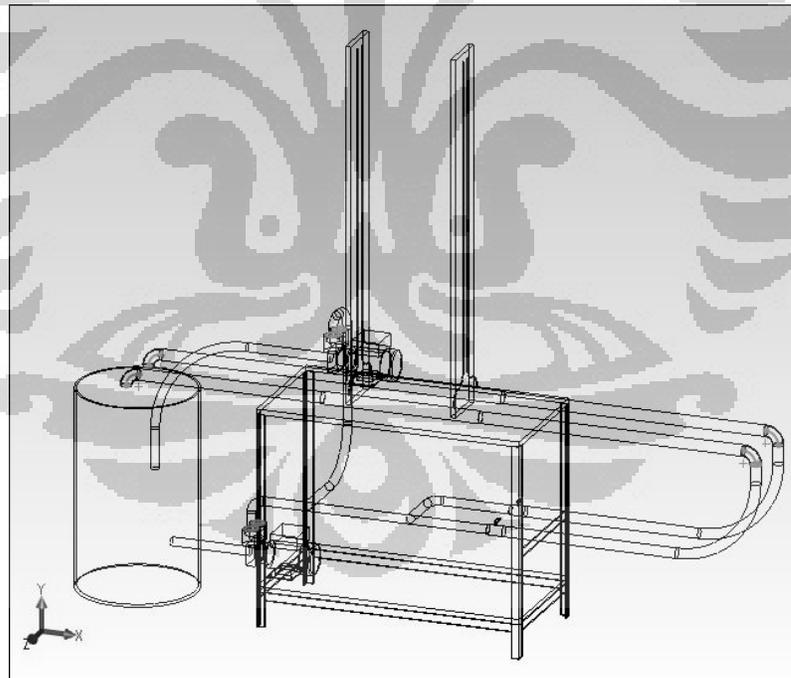
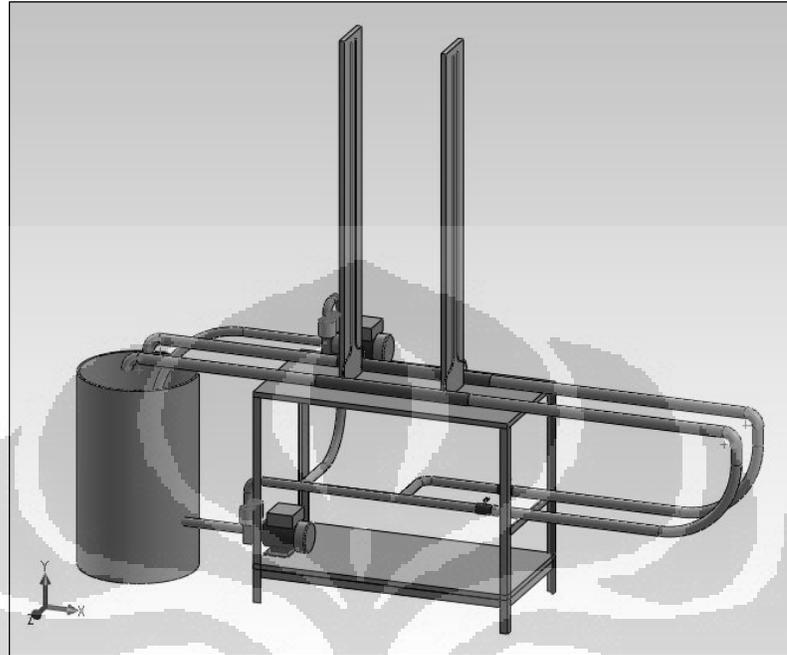
Dari penelitian ini ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut :

1. Perlu dicoba pada range variasi pitch ulir yang lebih banyak agar mendapatkan karakteristik koefisien gesek yang lebih kompleks.
2. Perlu dicoba menggunakan larutan drag reduction agent agar diketahui seberapa besar efeknya terhadap pengurangan nilai koefisien gesek.
3. Untuk mendapatkan data yang akurat perlu digunakan jenis pompa yang lebih memiliki kestabilan putaran, baik dalam kondisi putaran rendah/tinggi atau saat fluida dalam siklus mengalami tekanan maksimum.
4. Proses penampungan debit dan pengaturan laju aliran menggunakan alat yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

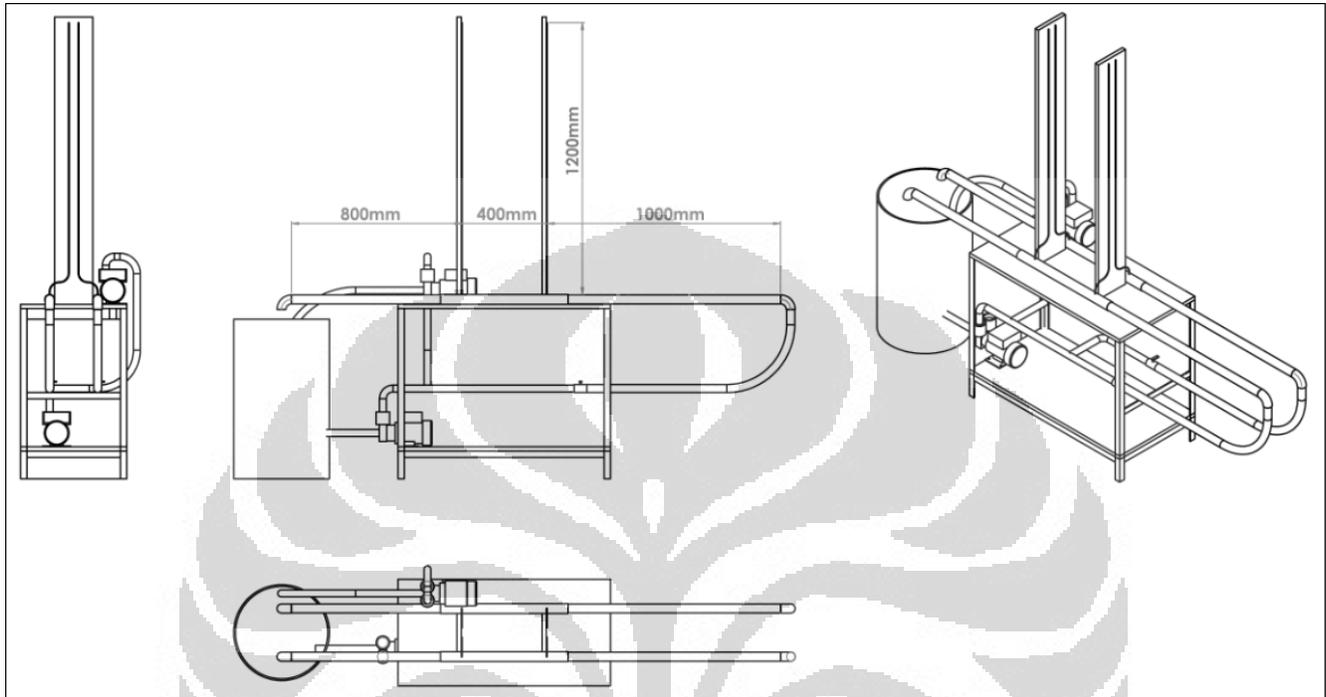
1. *Munson, B.R.*, Fundamentals of Fluid Mechanics 4th Ed, *John Wiley & Sons, Inc.* 2000
2. *Smits, A.J., A*, Physical Introduction to Fluid Mechanics, *John Wiley & Sons, Inc.* 2000
3. *Kumar, K.L.*, Engineering Fluid Mechanics, *Eurasia Publishing House Ltd.*, 2000
4. *Gerhart M Philip*, Fundamentals of Fluid Mechanics. *Addison Wesley Publishing Company.* 1985. P.443. *Watanabe, K., Yanuar., and H Udagawa*, “Drag Reduction of Newtonian fluid in a Circular Pipe with Highly Water-Repellent Wall.” *Journal of Fluid Mech.*, P. 225. 1999.
5. *Yanuar and Sukamto, Joko*. “Koefisien Gesek Pipa Kasar Dengan Biopolimer Guar Gum” *JURNAL TEKNOLOGI*, Edisi No. 2. Tahun XXI, Juni 2007, 125-134 ISSN 0215-1685
6. *Yanuar*. “Kurva Aliran Dengan Pipa Kapiler” *Proceeding Seminar Nasional ke 13, KPTU FT UGM. Juni 2007. P. 4-55.*
7. *Tom’s B.A., 1948*, “Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solution Through Straight Tubes at Large Reynold Numbers”, *Proc. Int. Conger Rheol. P. 135, 1948, 7. Scheveningen, Holland.*
8. *White A*, “Turbulent Drag Reduction With Polymer Additives“, *Journal Mechanical Engineering Science, Vol 8. No. 4, 1966.*
9. *Virk, P. S., 1971*, “Drag Reduction in Rough Pipes”, *Journal of Fluid 11. Mechanics. Vol*
10. *Etmad, S. Gh. (2004)*. *Turbulent Flow Friction Loss Coefficients of fittings for Purely Viscous non-Newtonian Fluids.* *Int. Comm. Heat Mass Transfer, 31, 763*
11. *Kreith, Frank*, Fluid Mechanics, *United States of America, The CRC Press LLC.* 2000
12. *Lang, Rudi A.* Basic Principles and Components of Fluid Technology. *United States of America. Mannesmann Rexroth.* 1991

LAMPIRAN 1



○	Skala :		Digambar :	Dachry Antoni	Keterangan	
	Satuan :	Mm	No. Mesin :	01		
	Tanggal :	20/12/2011	Diperiksa :	Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, Msc		
Teknik Mesin Universitas Indonesia		Alat Uji Pressure Drop			NO : 01	A4

LAMPIRAN 2



	Skala :		Digambar :	Dachry Antoni	Keterangan	
	Satuan :	Mm	No. Mesin :	01		
	Tanggal :	20/12/2011	Diperiksa :	Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng, Msc		
Teknik Mesin Universitas Indonesia		Tampak Pressure Drop			NO :01	A4

LAMPIRAN 3

■ TABLE B.2
Physical Properties of Water (SI Units)^a

Temperature (°C)	Density, ρ (kg/m ³)	Specific Weight ^b , γ (kN/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Surface Tension ^c , σ (N/m)	Vapor Pressure, p_v [N/m ² (abs)]	Speed of Sound ^d , c (m/s)
0	999.9	9.806	1.787 E - 3	1.787 E - 6	7.56 E - 2	6.105 E + 2	1403
5	1000.0	9.807	1.519 E - 3	1.519 E - 6	7.49 E - 2	8.722 E + 2	1427
10	999.7	9.804	1.307 E - 3	1.307 E - 6	7.42 E - 2	1.228 E + 3	1447
20	998.2	9.789	1.002 E - 3	1.004 E - 6	7.28 E - 2	2.338 E + 3	1481
30	995.7	9.765	7.975 E - 4	8.009 E - 7	7.12 E - 2	4.243 E + 3	1507
40	992.2	9.731	6.529 E - 4	6.580 E - 7	6.96 E - 2	7.376 E + 3	1526
50	988.1	9.690	5.468 E - 4	5.534 E - 7	6.79 E - 2	1.233 E + 4	1541
60	983.2	9.642	4.665 E - 4	4.745 E - 7	6.62 E - 2	1.992 E + 4	1552
70	977.8	9.589	4.042 E - 4	4.134 E - 7	6.44 E - 2	3.116 E + 4	1555
80	971.8	9.530	3.547 E - 4	3.650 E - 7	6.26 E - 2	4.734 E + 4	1555
90	965.3	9.467	3.147 E - 4	3.260 E - 7	6.08 E - 2	7.010 E + 4	1550
100	958.4	9.399	2.818 E - 4	2.940 E - 7	5.89 E - 2	1.013 E + 5	1543

^aBased on data from *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988.

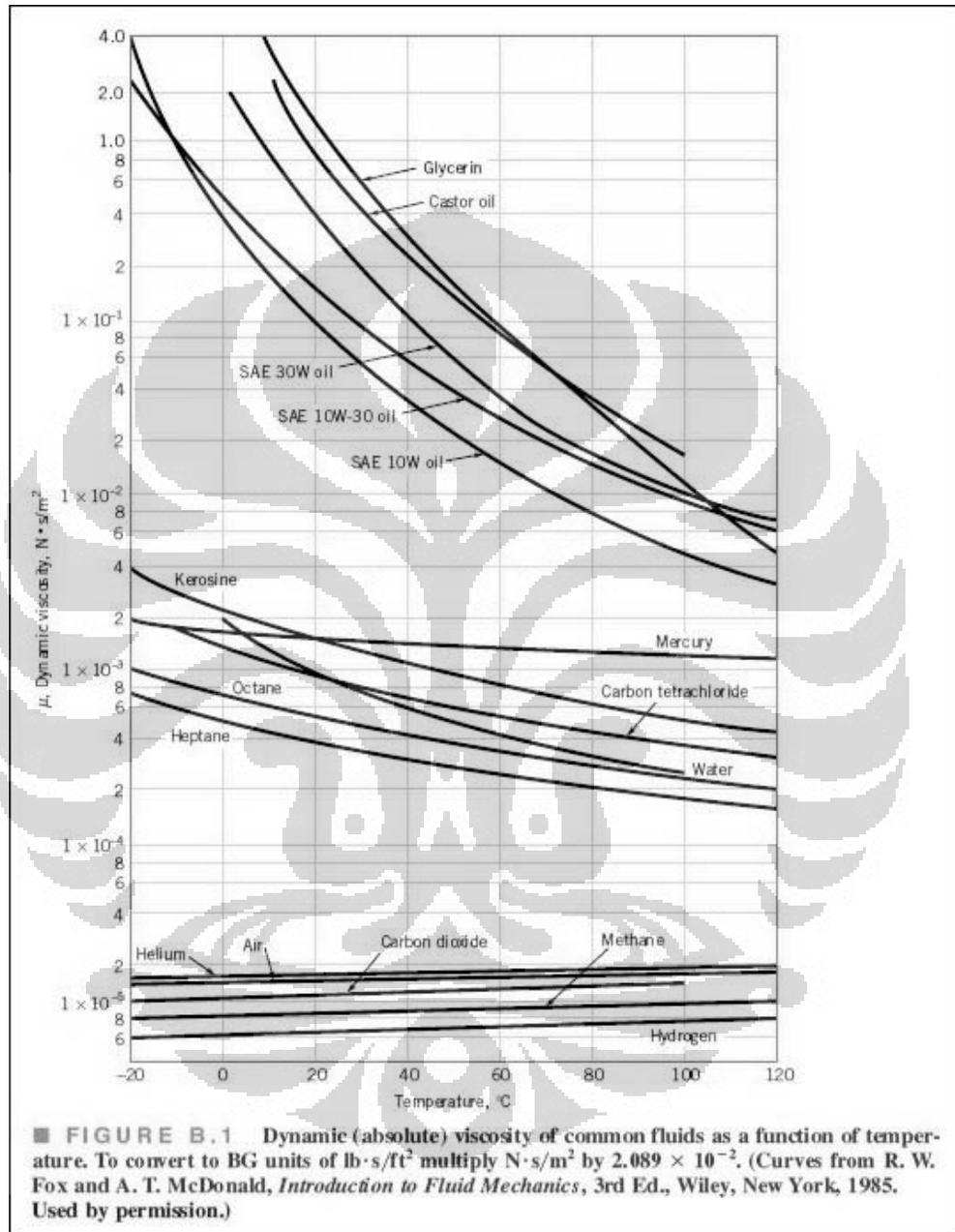
^bDensity and specific weight are related through the equation $\gamma = \rho g$. For this table, $g = 9.807 \text{ m/s}^2$.

^cIn contact with air.

^dFrom R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, 1984.

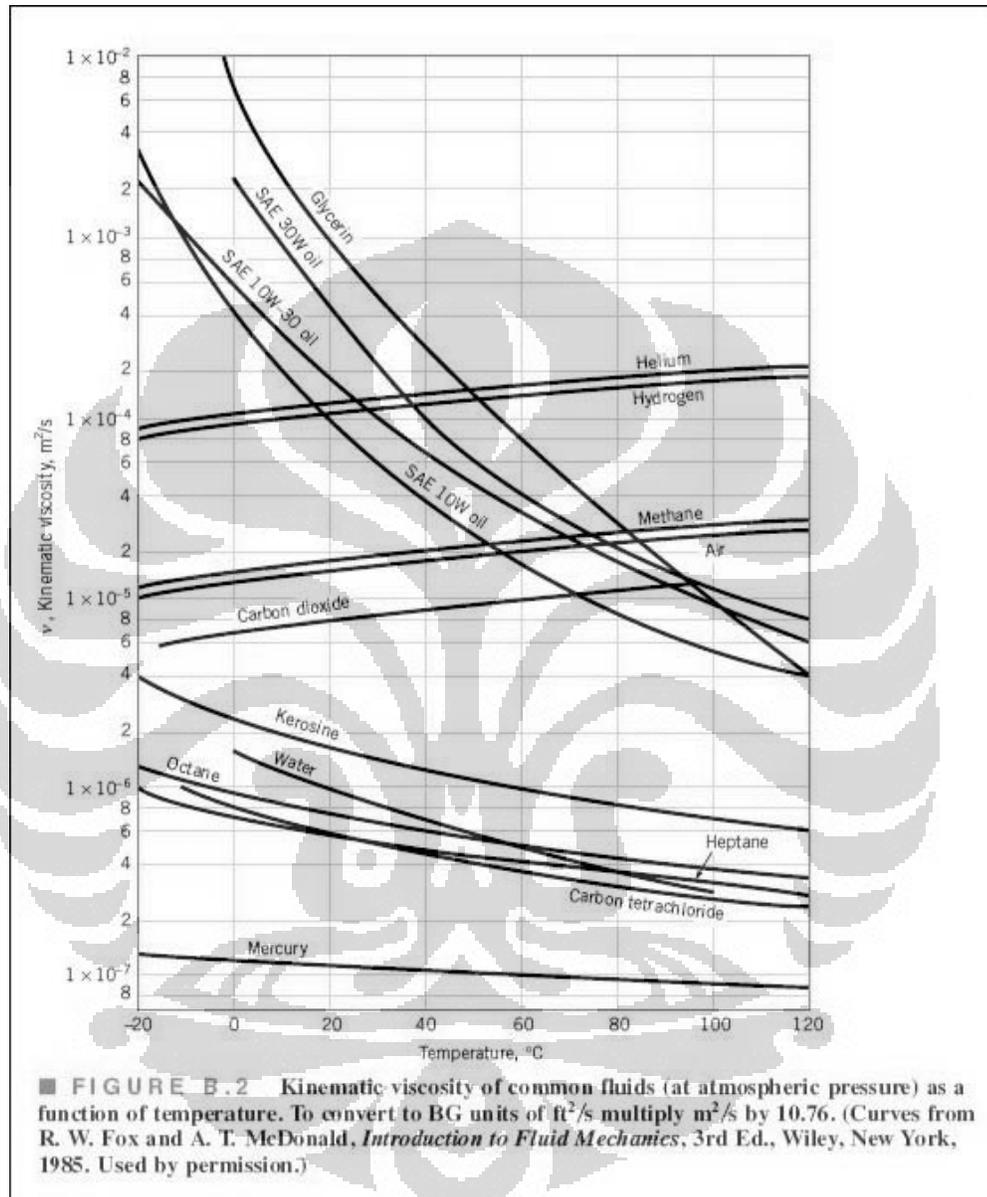
Properti fisika dari air murni Properti fisika dari air murni

LAMPIRAN 4



Absolut Viscosity fungsi Temperatur

LAMPIRAN 5



Kinematic Viscosity fungsi Temperatur

LAMPIRAN 6

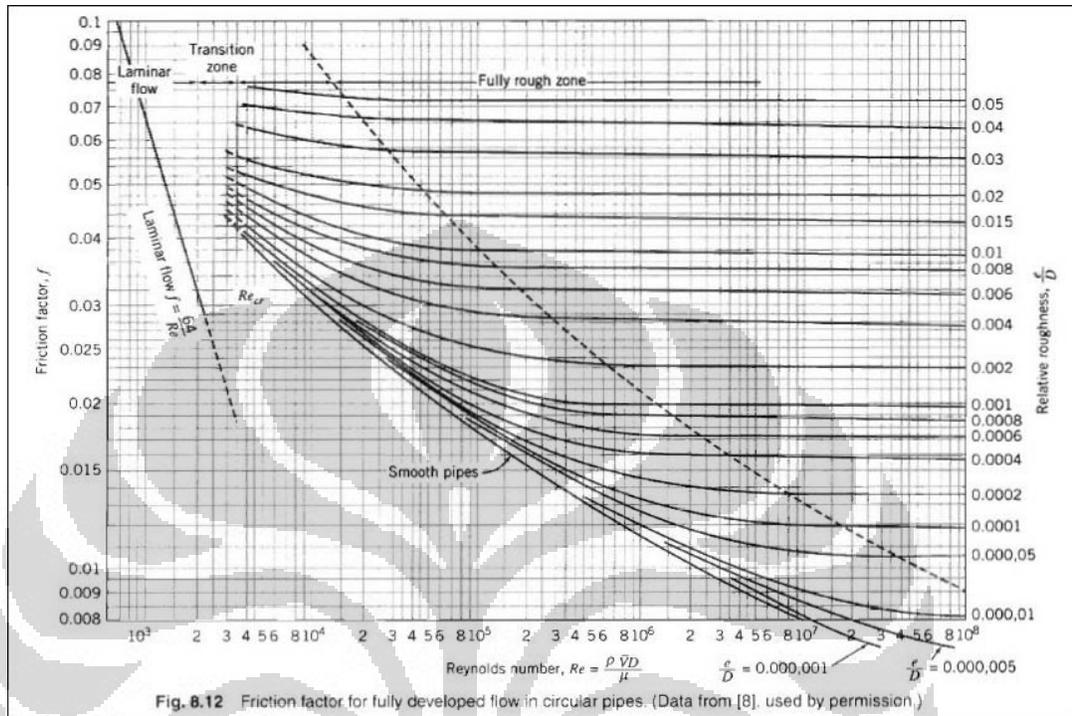


Diagram Moody

LAMPIRAN 7

Instalasi alat pengujian

LAMPIRAN 8

Persiapan pengambilan data pengujian

LAMPIRAN 9

Pengukuran ketinggian dari manometer

LAMPIRAN 10

Pencatatan hasil pembacaan manometer

LAMPIRAN 11

Kondisi valve, Pengaturan bukaan katup berdasarkan perbedaan busur derajat

LAMPIRAN 12



Menampung keluaran pada gelas ukur sesuai waktu stopwatch