



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN KOEFISIEN GESEK LARUTAN PEG 4000
800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM PADA PIPA BULAT**

SKRIPSI

**NURDIANSYAH MARPAUNG
0806368780**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN KOEFISIEN GESEK LARUTAN PEG 4000
800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM PADA PIPA BULAT**

SKRIPSI

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

**NURDIANSYAH MARPAUNG
0806368780**

**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 : Nurdiansyah Marpaung

NPM : 0806368780

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 - Juni - 2011.

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Nurdiansyah Marpaung
NPM : 0806368780
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengurangan Koefisien Gesek Larutan PEG 40
800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM Pada Pipa Bu

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

DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo ()

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo M.sc ()

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

Penguji : Ir. Mukti Wibowo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 - Juni - 2011

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

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

- (1) Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Eng Msc selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
- (3) Rekan-rekan seperjuangan satu bimbingan skripsi Fachriza Sofyan, Muhammad Andriaz, Torang Ridho, dan Rahmat Sandi Siddik yang telah sama-sama memberikan banyak kontribusi dalam penyelesaian skripsi ini.
- (4) Seluruh staf karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah membantu, atas bantuan kerjasamanya memberikan peminjaman alat-alat dalam pembuatan alat yang kami buat.
- (6) Dan seluruh pihak yang terkait sehingga membantu kelancaran dalam penyelesaian skripsi dalam pengambilan data dan hal lainnya;

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

Depok, 9 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 : Nurdiansyah Marpaung
NPM : 0806368780
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 KOEFISIEN GESEK LARUTAN PEG 4000
800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM PADA PIPA BULAT**

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

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 09 Juni 2011

Yang menyatakan



(Nurdiansyah Marpaung)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 METODE PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 METODE PENULISAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
2. LANDASAN TEORI	6
2.1 KLASIFIKASI FLUIDA	6
2.1.1 Fluida Newtonian	6
2.1.2 Fluida Non-Newtonian	6
2.2 ALIRAN FLUIDA	10
2.2.1 Klasifikasi Aliran Fluida	10
2.2.2 Aliran Laminer dan Turbulen	12
2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA	16
2.3.1 Density	16
2.3.1.1 Densitas Massa	16
2.3.1.2 Berat Spesifik	17
2.3.1.3 Densitas Relatif	17
2.3.2 Viskositas	17
2.3.3 Bilangan Reynold	18
2.4 PERSAMAAN FLUIDA	19
2.4.1 Laju Aliran Volume	19
2.4.2 Distribusi Kecepatan	20
3. DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN	22
3.1 RANCANGAN ALAT UJI	22
3.2 PERALATAN PENDUKUNG	23
3.2.1 Pompa Air	23
3.2.2 Tangki Penampung Air	24
3.2.3 Valve / Katup	25
3.2.4 Manometer	26
3.2.5 Termometer Air Raksa	26
3.2.6 Gelas Ukur	27
3.2.7 Stop Watch	27
3.2.8 Timbangan Digital	28
3.2.9 Pipa Penyalur	28
3.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	29

4. PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA	31
4.1 PERHITUNGAN DATA	31
4.1.1 Perhitungan Data Menggunakan Air Murni	31
4.1.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan (Δp)	31
4.1.1.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V)	33
4.1.1.3 Perhitungan Faktor Gesekan (f)	34
4.1.1.4 Perhitungan Bilangan Reynold (Re)	36
4.1.2 Perhitungan Data Menggunakan 800 PPM (PEG 4000).....	37
4.1.2.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan (Δp).....	37
4.1.2.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V)	38
4.1.2.3 Perhitungan Faktor Gesekan (f)	40
4.1.2.4 Perhitungan Bilangan Reynold (Re)	41
4.1.3 Perhitungan Data Menggunakan 1000 PPM (PEG 4000).....	42
4.1.3.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan (Δp).....	42
4.1.3.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V)	43
4.1.3.3 Perhitungan Faktor Gesekan (f)	45
4.1.3.4 Perhitungan Bilangan Reynold (Re)	46
4.1.4 Perhitungan Data Menggunakan 1200 PPM (PEG 4000).....	47
4.1.4.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan (Δp).....	47
4.1.4.2 Perhitungan Debit (Q) dan Kecepatan Aliran Fluida (V)	49
4.1.4.3 Perhitungan Faktor Gesekan (f)	50
4.1.4.4 Perhitungan Bilangan Reynold (Re)	51
4.2 ANALISIS DATA	53
5. KESIMPULAN DAN SARAN	56
KESIMPULAN	56
SARAN	56
DAFTAR REFERENSI	57

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) untuk Air Murni.	31
Tabel 4.2.	Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni	32
Tabel 4.3.	Data Debit Aliran (Q) Untuk Air Murni	33
Tabel 4.4	Data Kecepatan Aliran (V) Untuk Air Murni	34
Tabel 4.5	Data Faktor Gesekan Aliran (f) Untuk Air Murni	35
Tabel 4.6	Data Bilangan Reynolds (Re) Untuk Air Murni	36
Tabel 4.7	Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) 800 ppm (PEG 4000)	37
Tabel 4.8	Data Perbedaan Tekanan (Δp) 800 ppm (PEG 4000)	38
Tabel 4.9	Data Debit (Q) Aliran 800 ppm (PEG 4000)	38
Tabel 4.10	Data Kecepatan Aliran (V) 800 ppm (PEG 4000)	39
Tabel 4.11	Data Faktor Gesekan Aliran (f) 800 ppm (PEG 4000)	40
Tabel 4.12	Data Bilangan Reynolds (Re) 800 ppm polimer PEG 4000	41
Tabel 4.13	Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) 1000 ppm (PEG 4000)	42
Tabel 4.14	Data Perbedaan Tekanan (Δp) 1000 ppm (PEG 4000)	43
Tabel 4.15	Data Debit (Q) Aliran 1000 ppm (PEG 4000)	44
Tabel 4.16	Data Kecepatan Aliran (V) 1000 ppm (PEG 4000)	44
Tabel 4.17	Data Faktor Gesekan Aliran (f) 1000 ppm (PEG 4000)	45
Tabel 4.18	Data Bilangan Reynolds (Re) 1000 ppm polimer PEG 4000	46
Tabel 4.19	Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) 1000 ppm (PEG 4000)	47
Tabel 4.20	Data Perbedaan Tekanan (Δp) 1200 ppm (PEG 4000)	48
Tabel 4.21	Data Debit (Q) Aliran 1200 ppm (PEG 4000)	49
Tabel 4.22	Data Kecepatan Aliran (V) 1200 ppm (PEG 4000)	50
Tabel 4.23	Data Faktor Gesekan Aliran (f) 1200 ppm (PEG 4000)	51
Tabel 4.24	Data Bilangan Reynolds (Re) 1200 ppm polimer PEG 4000	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian	7
Gambar 2.2	Distribusi Kecepatan <i>bingham plastic fluid</i> pada pipa.....	8
Gambar 2.3	Shear stress (τ)-shear rate ($\dot{\gamma}$) pada thixotropic dan rheopectic..	9
Gambar 2.4	Kerugian head yang disebabkan belokan.....	12
Gambar 2.5	Aliran pipa sedang berkembang - aliran berkembang penuh....	14
Gambar 2.6	Diagram Moody	16
Gambar 2.7	Distribusi Kecepatan Laminer dan Turbulen pada pipa bulat....	20
Gambar 3.1	Instalasi alat uji pipa bulat	23
Gambar 3.2	Pompa Air	24
Gambar 3.3	Tangki Air.....	25
Gambar 3.4	Valve / Katup	25
Gambar 3.5	Manometer	26
Gambar 3.6	Termometer Air Raksa.....	26
Gambar 3.7	Gelas Ukur	27
Gambar 3.8	Stop Watch.....	27
Gambar 3.9	Timbangan Digital	28
Gambar 3.10	Pipa Penyalur	28

ABSTRAK

Nama : Nurdiansyah Marpaung
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengurangan Koefisien Gesek Larutan PEG 4000
800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM Pada Pipa Bulat

Skripsi ini membahas mengenai Pengurangan Koefisien Gesek Larutan PEG 4000 800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM. Eksperimen ini menggunakan pipa bulat acrylic berdiameter luar 12,7 mm dan diameter dalam pipa 11 mm pada aliran Turbulen. Aliran dalam pipa tersebut diuji dengan menambahkan Larutan PEG 4000 kedalam air murni pada konsentrasi 800 ppm, 1000 ppm dan 1200 ppm dengan aliran Turbulen. Dari hasil data, tabel, dan grafik menunjukkan bahwa dengan penambahan Larutan PEG 4000 pada konsentrasi 800 ppm, 1000 ppm, dan 1200 ppm kedalam air murni terjadi Drag Reduction. Dari hasil data eksperimen penambahan dengan konsentrasi 800 ppm Larutan PEG 4000 yang dicampurkan kepada air murni dapat menurunkan koefisien gesekan sebesar 16,7 % pada f 12 dan 18,5 % pada f 23, sedangkan dengan konsentrasi 1000 ppm Larutan PEG 4000 dapat menurunkan koefisien gesekan sebesar 17,4 % pada f 12 dan 18,9 % pada f 23, dan dengan konsentrasi 1200 ppm Larutan PEG 4000 dapat menurunkan gesekan sebesar 19,2 % pada f 12 dan 19,8 % pada f 23 dengan Bilangan Reynold 21.222.

Kata kunci : Drag Reduction, Poly Ethylene Glycol (PEG 4000), Pressure Drop, Pipa Bulat Acrylic.

ABSTRACT

Name : Nurdiansyah Marpaung
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Reduction Coefficient of Friction with solution of PEG 4000
with concentration of 800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM On
Rounded Acrylic Pipe

This thesis discusses about Reduction Coefficient of Friction with solution of PEG 4000 with concentration of 800 PPM, 1000 PPM, 1200 PPM. This experiment uses a round acrylic tube outer diameter 12,7 mm and 11 mm inner diameter of the pipe in Turbulent flow. The flow in the pipe tested by adding a solution of PEG 4000 into pure water at a concentration of 800 PPM, 1000 PPM and 1200 PPM with a Turbulent flow. From the data, tables, and graphs show that with the addition of PEG 4000 solution at a concentration of 800 PPM, 1000 PPM, and 1200 PPM into pure water occurs Drag Reduction. From the experimental data with the addition of concentrations 800 PPM solution of PEG 4000 are mixed to pure water can decrease the friction coefficient of 16,7 % at f 12 and 18,5 % at f 23, while a concentration of 1000 PPM solution of PEG 4000 can reduce the coefficient of friction 17,4 % at f 12 and 18,9 % at f 23, and a concentration of 1200 PPM solution of PEG 4000 can reduce friction by 19,2 % at f 12 and 19,8 % at f 23 with Reynold's Numbers 21.222.

Key word: Drag Reduction, Poly Ethylene Glycol (PEG 4000), Pressure Drop, Rounded Acrylic Pipe.

BAB I

PENDAHULUAN

Fluida adalah elemen yang sangat dekat atau bisa dibilang sangat diperlukan dalam kehidupan manusia sehari – hari. Udara dan air adalah beberapa contohnya, manusia tidak akan bisa hidup tanpa kedua elemen penting tersebut. Saat ini, fluida sudah lebih luas digunakan dalam kehidupan. Dari pemanfaatan aliran udara untuk pendinginan, pemanfaatan aliran air untuk pengairan dalam pertanian atau bahkan pemanfaatan sifat fluida sebagai suatu sarana penggerak seperti system pneumatic atau hydraulic.

Di dalam pemanfaatan suatu aliran fluida kebutuhannya sudah sangat luas, efisiensi sangat diperlukan. Pengetahuan tentang bagaimana suatu aliran dapat kita kendalikan baik itu dari segi kecepatan aliran, volume aliran, temperature atau yang lainnya sudah sangat luas tapi belum sepenuhnya tercapai dan akan terus berkembang.

Didalam tugas akhir inilah penulis mencoba menambahkan pengetahuan tentang aliran fluida melalui pengamatan fenomena pada suatu penelitian dari aliran yang pada fluidanya ditambahkan suatu *agent*.

1.1 LATAR BELAKANG

Drag Reducing Agent (DRA) atau yang lebih kita kenal sebagai Drag Reduction (DR), adalah suatu jenis bahan kimia yang berfungsi untuk meminimalkan atau menurunkan drag atau frictional pressure loss/drop dalam aliran fluida. Penurunan gaya drag (*Drag Reduction = DR*) pada aliran turbulen adalah fenomena turun drastisnya gesekan permukaan (*skin friction*) pada suatu fluida akibat penambahan sejumlah kecil aditif pada fluida tersebut. Drag Reducer tidak bekerja pada aliran fluida yang bersifat laminar. Hal ini disebabkan karena drag reduction terjadi karena adanya interaksi dari molekul-molekul drag reduction dengan formasi turbulen dalam aliran fluida. Dengan berkurangnya rugi tekanan (pressure loss), maka kita dapat memperoleh bermacam aplikasi dari drag reduction seperti menaikkan kapasitas pemompaan (flow increase), jika kapasitas pemompaan (rate) tetap maka kita dapat menurunkan tekanan pemompaan dan hal

ini berarti kita dapat menghemat daya (power saving) untuk pemompaan menghemat daya, energi dan pemeliharaan (maintenance) dan lain sebagainya.

Polimer merupakan aditif yang sangat menarik, karena hanya dengan beberapa ppm (part per million – bagian per sejuta) polimer ber-berat molekul tinggi, aditif ini bisa menimbulkan DR yang sangat besar. Banyak sekali penelitian yang telah didedikasikan untuk menyelidiki fenomena DR pada larutan polimer (baik pada larutan aqueous ataupun organik) dan juga keterkaitan antara sifat larutan dengan DR nya. Aplikasi DR menggunakan polimer yang paling berhasil adalah transportasi minyak mentah melalui jalur pemipaan. Pada tahun 1979, Alyeska Pipeline Service Company memulai penggunaan aditif polimer sebagai penurun gaya drag di dalam pipa berdiameter 1,2 m sepanjang 1.287 km pada Trans Alaskan Pipeline System (TAPS). Dua belas stasiun pemompaan semula di rencanakan pada sistem tersebut, sebelum dipertimbangkannya penggunaan aditif polimer untuk menimbulkan efek DR didalam jalur pemipaan. Pada tahun 1980 – 1981 perusahaan Alyeska membatalkan pembangunan dua stasiun pemompaan karena aditif polimer ternyata mampu menggantikan peran kedua stasiun pemompaan tersebut (Motier dkk, 1996). Namun perlu dicatat bahwa aditif polimer akan mengalami degradasi permanen akibat tegangan geser yang tinggi, oleh karena itu, aditif ini tidak cocok di gunakan dalam sirkulasi aliran tertutup.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah :

Untuk mengetahui nilai koefisien gesekan dalam pipa bulat dengan menambahkan Polimer PEG 4000 ke dalam air murni.

1.3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan penelitian secara langsung di laboratorium. Penelitian meliputi pengujian langsung dan tidak langsung. Pengujian langsung adalah pengujian untuk mendapatkan variabel yang dapat diketahui dengan cara mengukur nilainya seperti

perbedaan tekanan melalui perbedaan ketinggian manometer, debit aliran, berat jenis, dan temperatur.

Sedangkan pengujian tidak langsung adalah pengujian dimana variabel – variabel yang diperoleh dari pengujian harus diolah terlebih dahulu dengan rumus - rumus yang telah baku dari beberapa referensi, baru kemudian diperoleh suatu nilai hasil. Dalam penelitian tidak langsung ini, perhitungannya meliputi: Kapasitas aliran dari aliran yang ada, kecepatan aliran yang terjadi, bilangan Reynolds pada aliran, koefisien gesek pada pipa karena aliran tersebut, *power law index* dan *apparent* buku yang membahas tentang penelitian ini ataupun dari journal-journal yang telah dipublikasikan yang berkaitan dengan penelitian ini.

1.4 BATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya untuk mengetahui perubahan yang terjadi dalam suatu aliran fluida (air) jika dalam fluida tersebut ditambahkan suatu *agent* dalam kuantitas tertentu, seperti Polimer PEG 4000. Serta untuk mengetahui karakteristik dari salah satu jenis fluida Non – Newtonian. Jadi untuk faktor-faktor lain selain di atas belum sempat dilakukan penelitian.

1.5 METODE PENULISAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing

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

2. Membuat alat uji di laboratorium

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

3. Pengumpulan data

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

4. Pengolahan data

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

5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan serta hubungan antara *factor gesekan* (f) dan *Bilangan Reynolds* (Re), dari hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan maka dapat diketahui karakteristik dari fluida Non-Newtonian.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas

akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

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

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

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

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

BAB II

LANDASAN 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

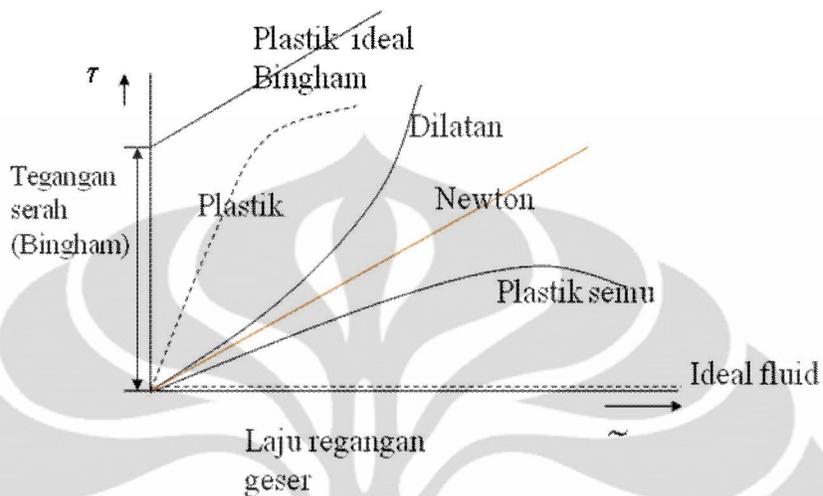
μ = Viskositas dinamik fluida

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

2.1.2 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. 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

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

a) Bingham plastic

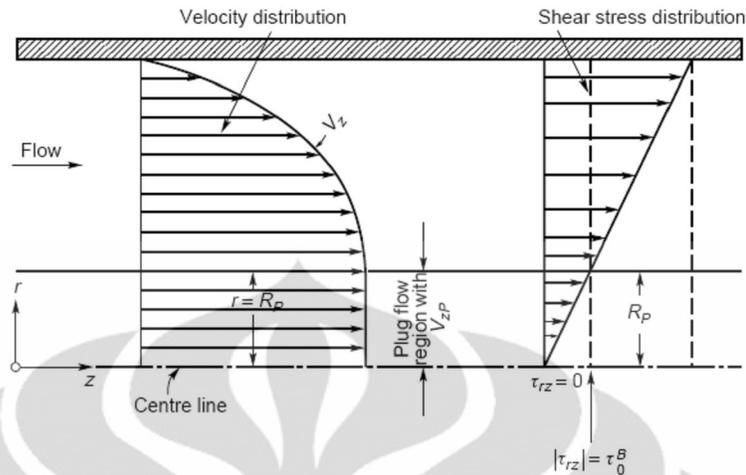
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya sangat bergantung pada shear stress dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

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

Dimana :

$\tau < \tau_y$ = zat padat

$\tau > \tau_y$ = fluida Newton



Gambar 2.2 Distribusi Kecepatan *bingham plastic fluid* pada pipa

b) Pseudoplastic (plastic semu)

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

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

c) Dilatant

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

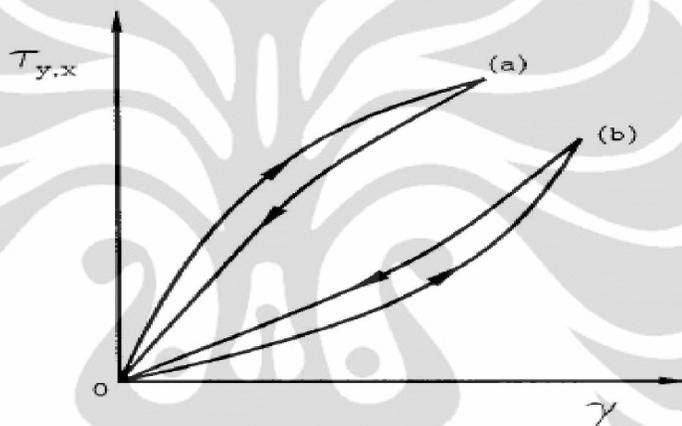
$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (4)$$

d) Penggolongan lain

- Thixotropic (shear thinning), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang

bekerja pada fluida ini maka viskositasnya akan menurun, misalnya cat, campuran tanah liat (clay), dan berbagai jenis gel.

- Rheopectic (shear thickening), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin besar, misalnya minyak pelumas dimana viskositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida rheopectic jika ada suatu gaya yang akan bekerja padanya maka viskositasnya akan bertambah.



Gambar 2.3 Hubungan shear stress (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 :

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

Dimana :

K= Indeks konsistensi

τ = Tegangan geser

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

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

Dengan :

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

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

2.2 ALIRAN FLUIDA

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

2.2.1 Klasifikasi Aliran Fluida

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

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

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

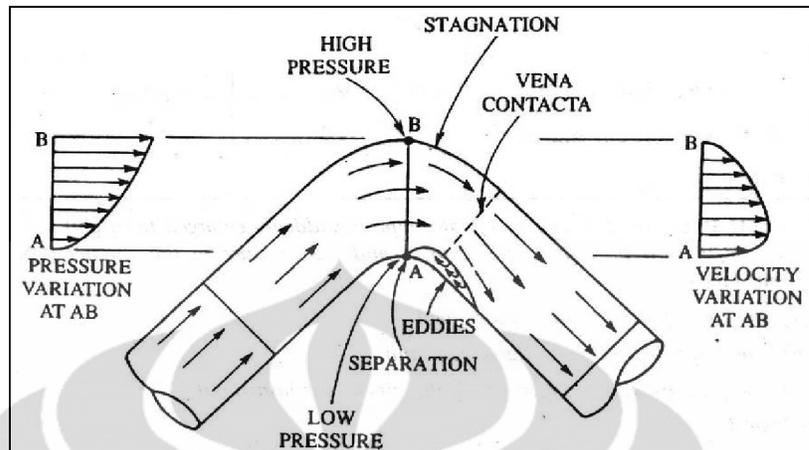
$$hf = \frac{\lambda L}{D(V^2 / 2g)} \dots\dots\dots (9)$$

Dari persamaan di atas didapat beberapa bentuk fungsi dari (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 :

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

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

Pada pipa juga terjadi kerugian head pada aliran yang disebut *minor 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 2.4 Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan

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

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

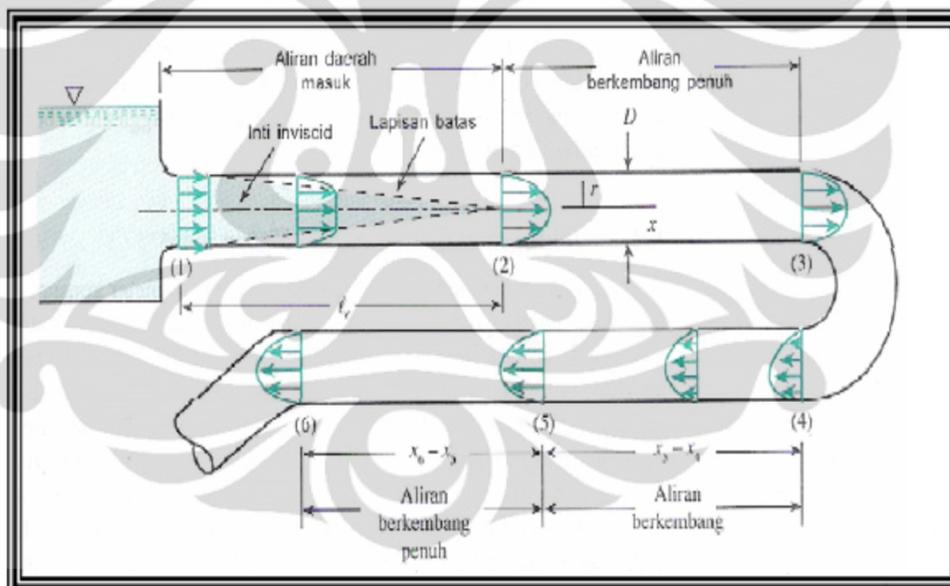
2.2.2 Aliran Laminar dan Turbulen

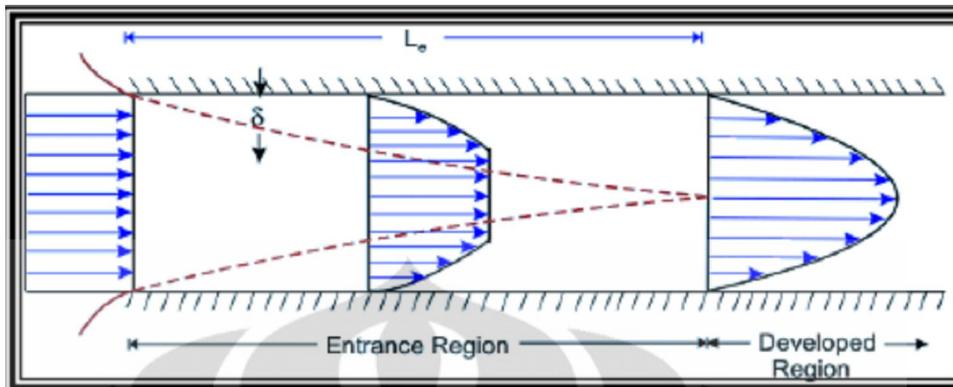
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling bertukar momentum secara molekuler saja. Kecenderungan ke arah ketidakstabilan dan turbulensi diredam habis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

Dalam aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak dalam lintasan-lintasan yang sangat tidak teratur, dengan mengakibatkan pertukaran momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Aliran turbulen dapat berskala kecil yang terdiri dari sejumlah besar pusaran-pusaran kecil yang cepat yang mengubah energi mekanik menjadi ketidakmampubalikan melalui kerja viskos, atau dapat berskala besar seperti pusaran-pusaran besar yang berada di sungai atau hempasan 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.

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





Gambar 2.5 Perilaku aliran dalam pipa dari aliran sedang berkembang hingga aliran berkembang penuh

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran. Hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energi dari fluida yang sering disebut dengan kerugian tekanan (head loss) atau penurunan tekanan (pressure drop) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (friction losses) dan perubahan pola aliran. Pada kondisi aliran laminar, hambatan gesek tersebut hanya dipengaruhi oleh kekentalan fluida. Namun, pada aliran turbulents 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).

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

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

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

Dimana f adalah koefisien gesek Darcy dan dapat ditentukan dengan rumus $f = \frac{64}{Re}$ untuk aliran laminar. Terlihat hubungan yang linear antara koefisien gesek dengan bilangan Reynolds, sedangkan untuk aliran turbulents nilai koefisien gesek tersebut banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain misalnya kekasaran permukaan pipa. Kekasaran permukaan pipa menjadi faktor yang dominan dalam menentukan besarnya koefisien gesek yang terjadi. Nilai kekasaran permukaan dinotasikan dengan simbol e dapat ditentukan dengan rumus:

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

Dimana : ϵ adalah kekasaran relatif.

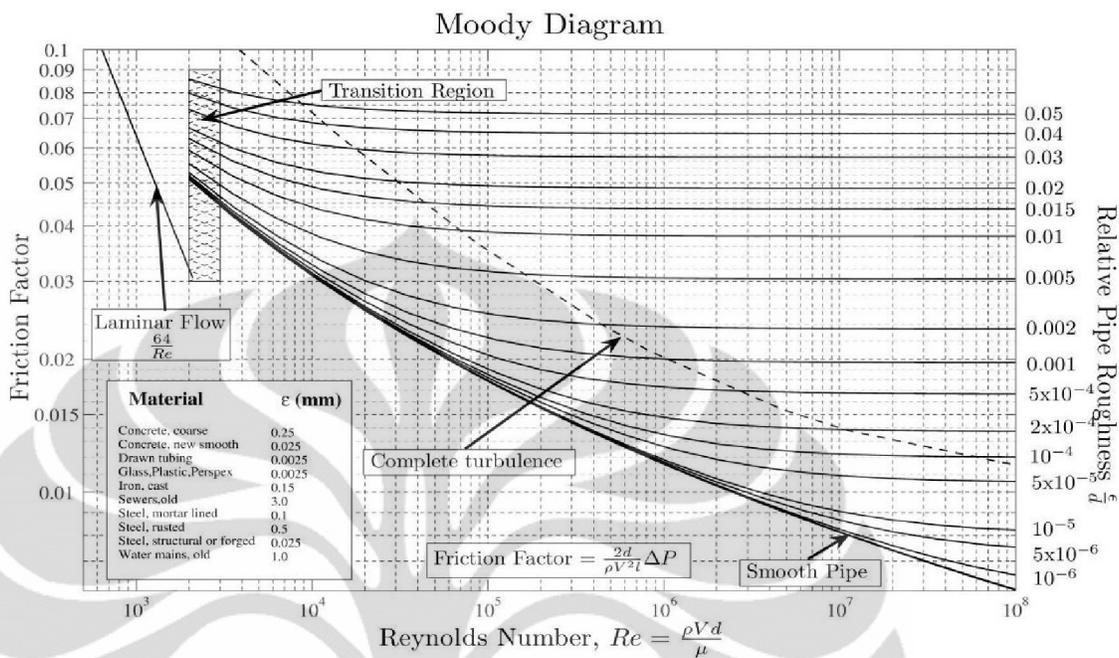
Pengaruh kekasaran permukaan pipa diteliti secara luas pertama kali oleh Nikuradse. Hasil dari percobaannya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan sangat mempengaruhi aliran pada bilangan Reynolds tinggi, nilai koefisien gesek tergantung pada bilangan Reynolds. Von Karman menurunkan rumus untuk aliran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

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

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

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

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



Gambar 2.6 Diagram Moody

2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat fluida yang perlu diketahui, antara lain :

2.3.1 Density

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

2.3.1.1 Densitas Massa

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

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

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 :

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots (18)$$

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

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 :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} \dots\dots\dots (19)$$

2.3.2 Viskositas

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

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

a) Viskositas dinamik

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

b) Viskositas kinematik

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

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

2.3.3 Bilangan Reynolds

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

$$\text{Re} = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \dots\dots\dots (20)$$

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. Debit aliran dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut :

$$Q = A V \dots\dots\dots (21)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

A = Luas penampang pipa [m]

Q = Debit aliran [m^3/s]

μ = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana :

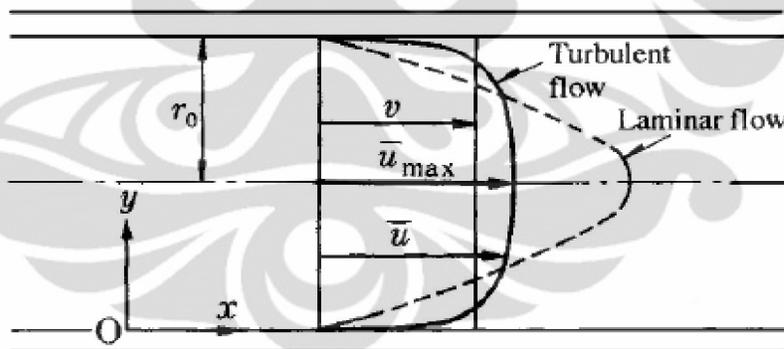
v = Volume aliran [m^3]

Q = Debit aliran [m^2/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 turbulenta. Distribusi aliran digunakan untuk melihat profil aliran kecepatan dalam pipa.



Gambar 2.7 Distribusi Kecepatan laminar dan turbulenta pada pipa bulat

Untuk aliran laminar maka berlaku persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} v_c \dots\dots\dots (23)$$

$$v = v_c \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = v_c \left(1 - \frac{(R - y)^2}{R} \right) \dots\dots\dots (24)$$

Dimana :

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

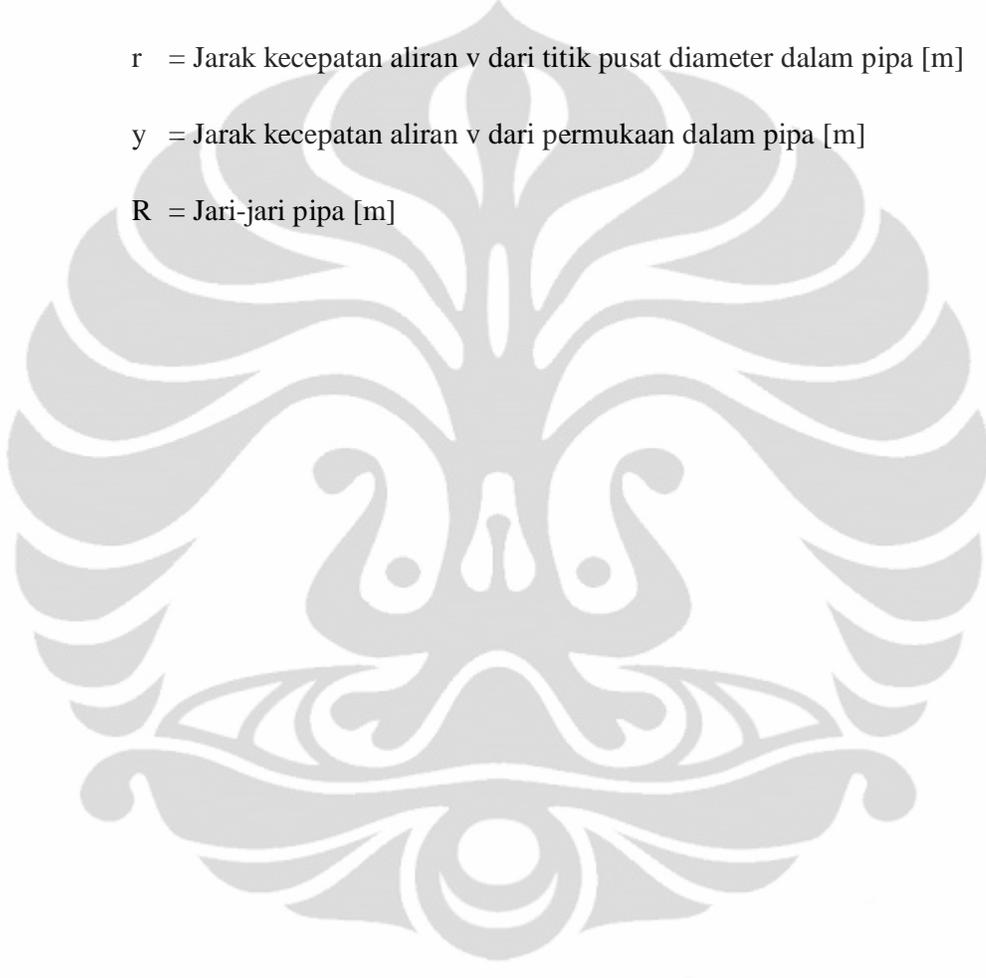
v_c = Kecepatan aliran pada pusat pipa [m/s]

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

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

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

R = Jari-jari pipa [m]



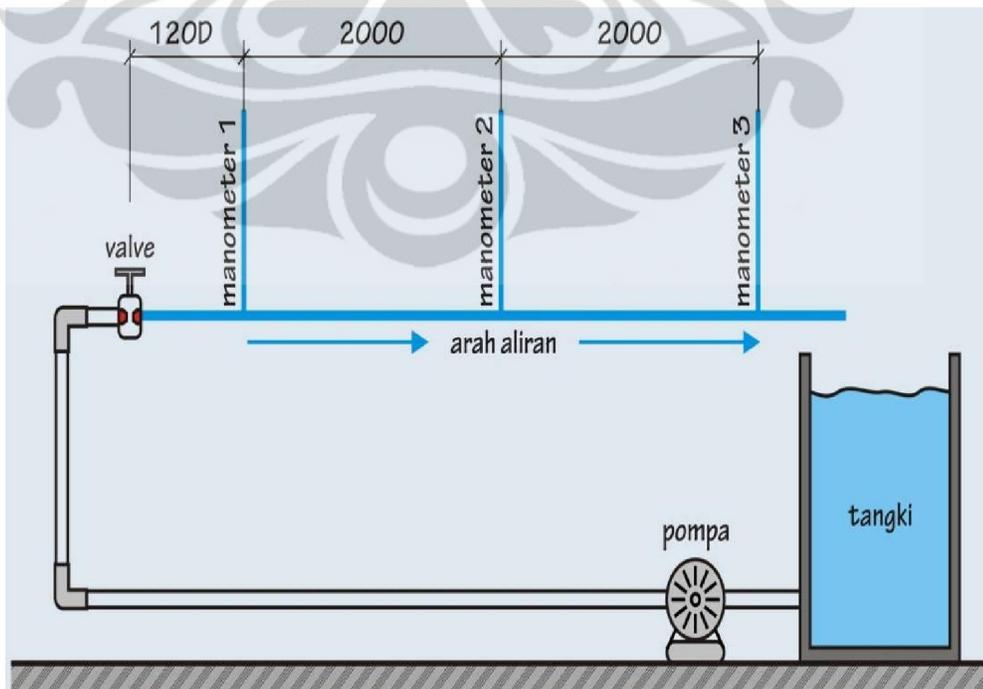
BAB III

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 RANCANGAN ALAT UJI

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

Rancangan alat uji seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana alat uji adalah sebuah pipa akrilik dengan panjang pipa 6 m, diameter luar (\O out) 12,7 mm, dan diameter dalam (\O in) 11 mm. Pipa ini dihubungkan dengan pompa, dimana pompa digunakan untuk menyedot air yang ada didalam tangki untuk dialirkan dalam pipa bulat acrylic. Pada alat uji dipasang tiga buah pressure gauge, dimana pressure gauge pertama terpasang pada jarak $120xD\text{-in}$ untuk menjaga aliran berkembang penuh (*fully developed*), pressure gauge kedua $120xD\text{-in} + 2000$ mm dan pressure gauge ketiga terpasang $120xD\text{-in} + 4000$ mm dari ujung valve,





Gambar 3.1 Instalasi alat uji pipa bulat

3.2 PERALATAN PENDUKUNG

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

3.2.1 Pompa Air

Pada prinsipnya pompa air ini digunakan untuk mensirkulasikan campuran polimer dan fluida air murni dari tangki penampungan kedalam *test section* pada pengujian. Oleh karena itu, pertimbangan pemilihan spesifikasi pompa didasarkan pada aliran campuran polimer dan fluida air murni yang dibutuhkan dalam proses pengujian. Adapun spesifikasi dari pompa adalah sebagai berikut :

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



Gambar 3.2 Pompa Air

3.2.2 Tangki Penampung Air

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



Gambar 3.3. Tangki Air

3.2.3 Valve / 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 3.4 Valve dengan busur derajat

3.2.4 Manometer

Manometer digunakan untuk mengukur beda ketinggian (h) yang terjadi antara tiga titik manometer pada pipa penguji.



Gambar 3.5 Manometer

3.2.5 Thermometer Air Raksa

Thermometer digunakan untuk mengukur temperatur dari fluida yang dialirkan dalam alat uji. Pada percobaan ini digunakan termometer air raksa.



Gambar 3.6 Thermometer Air Raksa

3.2.6 Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume dan berat fluida yang keluar dari pipa uji dalam waktu tertentu.



Gambar 3.7 Gelas Ukur

3.2.7 Stop Watch

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



Gambar 3.8 Stop Watch

3.2.8 Timbangan Digital

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



Gambar 3.9 Timbangan Digital

3.2.9 Pipa Penyalur

Pipa ini terdiri dari pipa PVC dengan ukuran 1/2 inci. Dimana pipa ini diinstalasi sesuai gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing.



Gambar 3.10 Pipa Penyalur

3.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Saat aliran sudah steady pada pembukaan penuh katup, dan pada manometer sudah tidak ada gelembung dan ketinggian dari head yang terbaca sudah stabil kita bisa memulai pengambilan data.

Variasi kecepatan aliran diperoleh dengan cara mengatur pembukaan atau penutupan pada katup utama yang berada di ujung awal pipa acrylic, dimana variasi buka-tutup katup yang digunakan adalah penutupan dari 90° (valve membuka penuh) sampai dengan 20° (valve hampir menutup) dan dari 20° membuka ke 90° . Variasi pembukaan valve adalah sebesar 5° , hal ini bertujuan untuk mendapatkan variasi data yang lebih banyak. Dan untuk ketepatan penutupan atau pembukaan katup ini dipasangkan busur derajat dan jarum penunjuk pada katup. Di bawah 20° tidak dilakukan karena dibawah 20° perbedaan tekanan pada manometer ketiga sudah tidak dapat terbaca.

Konsentrasi penambahan cairan tinta ini dilakukan dalam dua variasi konsentrasi, dimana untuk yang pertama adalah pencampuran sebanyak 800 ppm dan yang kedua adalah sebanyak 1000 ppm dan ketiga adalah sebanyak 1200 ppm. Tujuan dari perbedaan penambahan ini adalah untuk melihat seberapa signifikan pengaruh Polimer PEG 4000 sebagai agent dalam fluida sebagai accelerator aliran. Dalam percobaan ini temperature tiap menit selalu di monitoring.

TAHAP PENGUJIAN

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. Campurkan Polimer PEG 4000 sebanyak 800 ppm, 1000 ppm, dan 1200 ppm secara bertahap dan pastikan campuran polimer PEG 4000 sudah diaduk dan tercampur secara merata
4. Membuka semua katup agar fluida bisa mengalir dan mencapai keadaan stabil
5. Menghidupkan pompa dan biarkan sampai aliran stabil
6. Melihat temperatur pada termometer yang dipasang pada tangki

7. Pastikan tidak ada udara yang terjebak pada pipa kapiler dan ketinggian head sudah tidak berubah lagi (sudah steady) agar pembacaan tidak terganggu
8. Data pertama yang dibaca adalah ketinggian dari masing – masing manometer 1,2, dan manometer 3
9. Lalu dilanjutkan dengan pengukuran debit fluida yang keluar dengan bantuan gelas ukur, timbangan digital dan stopwatch. Caranya adalah debit air yang tertampung di gelas ukur selama ± 6 detik lalu ditimbang beratnya dengan menggunakan timbangan digital
10. Setelah data didapat, valve diputar menutup sebesar 5° dan menunggu kembali sampai aliran stabil.
11. Lalu kita ulangi kembali pengukuran di langkah ke 8 dan 9 sampai valve menutup di 20° .
12. Setelah valve menutup sampai pada 20° , lalu valve di buka kembali sebesar 5° untuk data pembukaan
13. Setelah semua data dicatat di lakukan pengolahan data serta di analisa hasil dari pencatat data, dan tidak lupa alat – alat dibereskan dan pompa dimatikan kembali

BAB 4 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, massa jenis dari fluida (ρ), 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 massa yang ditimbang didapat massa jenis fluida. Dari temperatur fluida didapat viskositas dari fluida tersebut. Dari data-data yang ada nantinya digunakan untuk menghitung friksi yang terjadi dan Bilangan Reynolds.

4.1.1 Perhitungan Data Menggunakan Air Murni

4.1.1.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk Air Murni pada $T = 29^\circ \text{C}$

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 (m)	H2 (m)	H3 (m)	H 12 (m)	H 23 (m)
1	0.048	0.034	0.021	0.014	0.013
2	0.081	0.054	0.027	0.028	0.027
3	0.115	0.074	0.034	0.041	0.040
4	0.196	0.125	0.056	0.072	0.069
5	0.254	0.164	0.078	0.090	0.086
6	0.323	0.211	0.103	0.113	0.108
7	0.405	0.269	0.139	0.136	0.130
8	0.451	0.300	0.157	0.151	0.143
9	0.560	0.362	0.174	0.198	0.188
10	0.880	0.538	0.214	0.342	0.324
11	1.220	0.737	0.281	0.483	0.456
12	1.378	0.829	0.311	0.549	0.518
13	1.511	0.937	0.397	0.574	0.540
14	1.572	0.945	0.354	0.627	0.591
15	1.589	0.957	0.361	0.633	0.596
16	1.597	0.961	0.362	0.636	0.599

17	1.638	0.982	0.365	0.656	0.617
18	1.630	0.980	0.368	0.650	0.612
19	1.681	1.006	0.371	0.675	0.635
20	1.683	1.009	0.375	0.674	0.634
21	1.705	1.021	0.378	0.684	0.643
22	1.724	1.033	0.383	0.691	0.650
23	1.733	1.041	0.391	0.691	0.650

Dengan :

H1 = ketinggian manometer pertama

H2 = ketinggian manometer kedua

H3 = ketinggian manometer ketiga

H 12 = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

H 23 = beda ketinggian antara manometer kedua dengan ketiga

Dari perbedaan ketinggian (H) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan

dengan persamaan $p = \rho \cdot g \cdot H$, dimana :

$\rho = 995.9 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 29^\circ \text{ C}$

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

Tabel 4.2 Data Perbedaan Tekanan (Δp) Untuk Air Murni

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	p 12 (Pa)	p 23 (Pa)
1	0.014	0.013	135	130
2	0.028	0.027	271	261
3	0.041	0.040	403	386
4	0.072	0.069	701	669
5	0.090	0.086	882	842
6	0.113	0.108	1103	1051
7	0.136	0.130	1331	1267
8	0.151	0.143	1474	1402
9	0.198	0.188	1933	1835
10	0.342	0.324	3346	3164
11	0.483	0.456	4722	4454
12	0.549	0.518	5367	5058
13	0.574	0.540	5603	5278
14	0.627	0.591	6129	5769
15	0.633	0.596	6181	5818
16	0.636	0.599	6215	5850
17	0.656	0.617	6409	6032
18	0.650	0.612	6351	5977
19	0.675	0.635	6595	6205
20	0.674	0.634	6585	6195
21	0.684	0.643	6678	6283
22	0.691	0.650	6749	6349

| 23 | 0.691 | 0.650 | 6755 | 6355 |

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) (m ³)	Debit (Q) (m ³ /s)
1	6.15	0.00010	0.00002
2	6.09	0.00015	0.00002
3	6.16	0.00019	0.00003
4	6.22	0.00026	0.00004
5	6.03	0.00029	0.00005
6	6.29	0.00034	0.00005
7	6.11	0.00037	0.00006
8	6.01	0.00038	0.00006
9	6.04	0.00045	0.00007
10	6.11	0.00062	0.00010
11	6.17	0.00076	0.00012
12	6.27	0.00083	0.00013
13	6.12	0.00083	0.00014
14	6.24	0.00089	0.00014
15	6.35	0.00091	0.00014
16	6.4	0.00092	0.00014
17	6.29	0.00092	0.00015
18	6.46	0.00094	0.00015
19	6.19	0.00092	0.00015
20	6.33	0.00094	0.00015
21	6.28	0.00094	0.00015
22	6.11	0.00092	0.00015
23	6.14	0.00093	0.00015

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) 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 (m)	A pipa (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)
1	0.01100	0.000095	0.00002	0.1748
2	0.01100	0.000095	0.00002	0.2590
3	0.01100	0.000095	0.00003	0.3238
4	0.01100	0.000095	0.00004	0.4426
5	0.01100	0.000095	0.00005	0.5041
6	0.01100	0.000095	0.00005	0.5718
7	0.01100	0.000095	0.00006	0.6356
8	0.01100	0.000095	0.00006	0.6732
9	0.01100	0.000095	0.00007	0.7844
10	0.01100	0.000095	0.00010	1.0683
11	0.01100	0.000095	0.00012	1.2968
12	0.01100	0.000095	0.00013	1.3937
13	0.01100	0.000095	0.00014	1.4278
14	0.01100	0.000095	0.00014	1.5016
15	0.01100	0.000095	0.00014	1.5087
16	0.01100	0.000095	0.00014	1.5134
17	0.01100	0.000095	0.00015	1.5399
18	0.01100	0.000095	0.00015	1.5319
19	0.01100	0.000095	0.00015	1.5647
20	0.01100	0.000095	0.00015	1.5634
21	0.01100	0.000095	0.00015	1.5758
22	0.01100	0.000095	0.00015	1.5852
23	0.01100	0.000095	0.00015	1.5861

Dengan :

D in = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 11 mm

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 (H), 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	H 12 (m)	H 23 (m)	D in (m)	L 12 (m)	L 23 (m)	Kecepatan (V) (m/s)	f 12	f 23
1	0.014	0.013	0.01100	2	2	0.1748	0.04892	0.04716
2	0.028	0.027	0.01100	2	2	0.2590	0.04467	0.04291
3	0.041	0.040	0.01100	2	2	0.3238	0.04243	0.04067
4	0.072	0.069	0.01100	2	2	0.4426	0.03950	0.03774
5	0.090	0.086	0.01100	2	2	0.5041	0.03835	0.03659
6	0.113	0.108	0.01100	2	2	0.5718	0.03727	0.03551
7	0.136	0.130	0.01100	2	2	0.6356	0.03639	0.03463
8	0.151	0.143	0.01100	2	2	0.6732	0.03592	0.03416
9	0.198	0.188	0.01100	2	2	0.7844	0.03470	0.03294
10	0.342	0.324	0.01100	2	2	1.0683	0.03238	0.03062
11	0.483	0.456	0.01100	2	2	1.2968	0.03101	0.02925
12	0.549	0.518	0.01100	2	2	1.3937	0.03052	0.02876
13	0.574	0.540	0.01100	2	2	1.4278	0.03036	0.02860
14	0.627	0.591	0.01100	2	2	1.5016	0.03002	0.02826
15	0.633	0.596	0.01100	2	2	1.5087	0.02999	0.02823
16	0.636	0.599	0.01100	2	2	1.5134	0.02997	0.02821
17	0.656	0.617	0.01100	2	2	1.5399	0.02986	0.02810
18	0.650	0.612	0.01100	2	2	1.5319	0.02989	0.02813
19	0.675	0.635	0.01100	2	2	1.5647	0.02975	0.02799
20	0.674	0.634	0.01100	2	2	1.5634	0.02976	0.02800
21	0.684	0.643	0.01100	2	2	1.5758	0.02970	0.02794
22	0.691	0.650	0.01100	2	2	1.5852	0.02966	0.02790
23	0.691	0.650	0.01100	2	2	1.5861	0.02966	0.02790

Dengan :

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

H 23 = Perbedaan ketinggian manometer kedua dengan ketiga (m)

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

L 23 = Jarak antara manometer kedua dengan ketiga (m)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

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

f 23 = faktor gesekan yang terjadi antara manometer kedua dengan ketiga

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	29	0.01100	0.1748	0.00081462	2351
2	29	0.01100	0.2590	0.00081462	3483
3	29	0.01100	0.3238	0.00081462	4354
4	29	0.01100	0.4426	0.00081462	5952
5	29	0.01100	0.5041	0.00081462	6779
6	29	0.01100	0.5718	0.00081462	7689
7	29	0.01100	0.6356	0.00081462	8548
8	29	0.01100	0.6732	0.00081462	9053
9	29	0.01100	0.7844	0.00081462	10548
10	29	0.01100	1.0683	0.00081462	14366
11	29	0.01100	1.2968	0.00081462	17439
12	29	0.01100	1.3937	0.00081462	18742
13	29	0.01100	1.4278	0.00081462	19201
14	29	0.01100	1.5016	0.00081462	20193
15	29	0.01100	1.5087	0.00081462	20289
16	29	0.01100	1.5134	0.00081462	20352
17	29	0.01100	1.5399	0.00081462	20708
18	29	0.01100	1.5319	0.00081462	20601
19	29	0.01100	1.5647	0.00081462	21042
20	29	0.01100	1.5634	0.00081462	21024
21	29	0.01100	1.5758	0.00081462	21192
22	29	0.01100	1.5852	0.00081462	21318
23	29	0.01100	1.5861	0.00081462	21329

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

Re = bilangan Reynolds

4.1.2 Perhitungan Data Menggunakan 800 PPM (PEG 4000)

4.1.2.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 800 PPM (PEG 4000) T = 28,7° 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) 800 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H1 (m)	H2 (m)	H3 (m)	H 12 (m)	H 23 (m)
1	0.042	0.029	0.017	0.013	0.012
2	0.067	0.041	0.017	0.026	0.024
3	0.088	0.054	0.022	0.034	0.032
4	0.151	0.088	0.028	0.063	0.060
5	0.159	0.093	0.031	0.066	0.062
6	0.239	0.133	0.033	0.106	0.100
7	0.294	0.160	0.034	0.134	0.126
8	0.736	0.418	0.124	0.317	0.294
9	0.987	0.568	0.181	0.419	0.387
10	1.198	0.690	0.222	0.508	0.468
11	1.396	0.805	0.262	0.591	0.543
12	1.534	0.888	0.294	0.646	0.594
13	1.573	0.913	0.306	0.660	0.607
14	1.663	0.962	0.318	0.701	0.644
15	1.700	0.982	0.324	0.718	0.658
16	1.719	0.994	0.329	0.725	0.665
17	1.726	0.999	0.331	0.728	0.668
18	1.740	1.005	0.331	0.735	0.674
19	1.746	1.008	0.332	0.737	0.676
20	1.752	1.011	0.332	0.741	0.679
21	1.784	1.027	0.333	0.757	0.694

Dengan :

H1 = ketinggian manometer pertama

H2 = ketinggian manometer kedua

H3 = ketinggian manometer ketiga

H 12 = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

H 23 = beda ketinggian antara manometer kedua dengan ketiga

Dari perbedaan ketinggian (H) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan

dengan persamaan $p = \rho \cdot g \cdot H$, dimana :

$\rho = 978 \text{ kg/m}^3$ pada T = 28,7° C

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

Tabel 4.8 Data Perbedaan Tekanan (Δp) 800 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	p 12 (Pa)	p 23 (Pa)
1	0.013	0.012	124	118
2	0.026	0.024	245	233
3	0.034	0.032	327	310
4	0.063	0.060	609	574
5	0.066	0.062	633	596
6	0.106	0.100	1018	955
7	0.134	0.126	1290	1208
8	0.317	0.294	3045	2823
9	0.419	0.387	4020	3714
10	0.508	0.468	4873	4492
11	0.591	0.543	5665	5212
12	0.646	0.594	6200	5697
13	0.660	0.607	6335	5820
14	0.701	0.644	6730	6177
15	0.718	0.658	6885	6317
16	0.725	0.665	6956	6382
17	0.728	0.668	6982	6405
18	0.735	0.674	7052	6469
19	0.737	0.676	7075	6489
20	0.741	0.679	7106	6518
21	0.757	0.694	7264	6660

4.1.2.2 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) 800 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	Waktu (t) (s)	Volume (v) (m ³)	Debit (Q) (m ³ /s)
1	6.14	0.00010	0.00002
2	5.96	0.00015	0.00003
3	6.1	0.00018	0.00003
4	6.14	0.00026	0.00004
5	6.25	0.00027	0.00004
6	6.03	0.00034	0.00006
7	5.66	0.00037	0.00007
8	6.34	0.00068	0.00011
9	6.31	0.00079	0.00013
10	6.13	0.00086	0.00014

11	6.09	0.00093	0.00015
12	6.03	0.00097	0.00016
13	6.10	0.00099	0.00016
14	5.97	0.00101	0.00017
15	6.18	0.00105	0.00017
16	6.34	0.00109	0.00017
17	5.97	0.00103	0.00017
18	5.90	0.00102	0.00017
19	6.19	0.00107	0.00017
20	5.88	0.00102	0.00017
21	6.12	0.00108	0.00018

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) 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) 800 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	D in (m)	A pipa (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)
1	0.011	0.000095	0.00002	0.17777
2	0.011	0.000095	0.00003	0.26337
3	0.011	0.000095	0.00003	0.31108
4	0.011	0.000095	0.00004	0.44439
5	0.011	0.000095	0.00004	0.45437
6	0.011	0.000095	0.00006	0.59729
7	0.011	0.000095	0.00007	0.68458
8	0.011	0.000095	0.00011	1.12215
9	0.011	0.000095	0.00013	1.31682
10	0.011	0.000095	0.00014	1.47137
11	0.011	0.000095	0.00015	1.60475
12	0.011	0.000095	0.00016	1.69032
13	0.011	0.000095	0.00016	1.71151
14	0.011	0.000095	0.00017	1.77222
15	0.011	0.000095	0.00017	1.79559
16	0.011	0.000095	0.00017	1.80630
17	0.011	0.000095	0.00017	1.81008
18	0.011	0.000095	0.00017	1.82061
19	0.011	0.000095	0.00017	1.82399
20	0.011	0.000095	0.00017	1.82863
21	0.011	0.000095	0.00018	1.85189

Dengan :

D_{in} = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 11 mm

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

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.2.3 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 (H), panjang antar manometer (l), kecepatan aliran (V), kecepatan gravitasi (g), dan diameter dalam pipa (D_{in}).

Tabel 4.11 Data Faktor Gesekan Aliran (f) 800 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	D_{in} (m)	L 12 (m)	L 23 (m)	Kecepatan (V) (m/s)	f 12	f 23
1	0.013	0.012	0.011	2	2	0.17777	0.04397	0.04199
2	0.026	0.024	0.011	2	2	0.26337	0.03972	0.03774
3	0.034	0.032	0.011	2	2	0.31108	0.03804	0.03606
4	0.063	0.060	0.011	2	2	0.44439	0.03467	0.03269
5	0.066	0.062	0.011	2	2	0.45437	0.03447	0.03249
6	0.106	0.100	0.011	2	2	0.59729	0.03209	0.03011
7	0.134	0.126	0.011	2	2	0.68458	0.03097	0.02899
8	0.317	0.294	0.011	2	2	1.12215	0.02720	0.02522
9	0.419	0.387	0.011	2	2	1.31682	0.02607	0.02409
10	0.508	0.468	0.011	2	2	1.47137	0.02532	0.02334
11	0.591	0.543	0.011	2	2	1.60475	0.02474	0.02276
12	0.646	0.594	0.011	2	2	1.69032	0.02441	0.02243
13	0.660	0.607	0.011	2	2	1.71151	0.02433	0.02235
14	0.701	0.644	0.011	2	2	1.77222	0.02410	0.02212
15	0.718	0.658	0.011	2	2	1.79559	0.02402	0.02204
16	0.725	0.665	0.011	2	2	1.80630	0.02398	0.02200
17	0.728	0.668	0.011	2	2	1.81008	0.02397	0.02199
18	0.735	0.674	0.011	2	2	1.82061	0.02393	0.02195
19	0.737	0.676	0.011	2	2	1.82399	0.02392	0.02194
20	0.741	0.679	0.011	2	2	1.82863	0.02390	0.02192
21	0.757	0.694	0.011	2	2	1.85189	0.02382	0.02184

Dengan :

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

H 23 = Perbedaan ketinggian manometer kedua dengan ketiga (m)

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

L 23 = Jarak antara manometer kedua dengan ketiga (m)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

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

f 23 = faktor gesekan yang terjadi antara manometer kedua dengan ketiga

4.1.2.4 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) 800 ppm polimer PEG 4000

Bukaan Katup	T (°C)	D in (m)	Kecepatan (V) (m/s)	ν (m ² /s)	Re
1	28.7	0.011	0.17777	0.00081347	2351
2	28.7	0.011	0.26337	0.00081347	3483
3	28.7	0.011	0.31108	0.00081347	4114
4	28.7	0.011	0.44439	0.00081347	5877
5	28.7	0.011	0.45437	0.00081347	6009
6	28.7	0.011	0.59729	0.00081347	7899
7	28.7	0.011	0.68458	0.00081347	9053
8	28.7	0.011	1.12215	0.00081347	14840
9	28.7	0.011	1.31682	0.00081347	17415
10	28.7	0.011	1.47137	0.00081347	19459
11	28.7	0.011	1.60475	0.00081347	21222
12	28.7	0.011	1.69032	0.00081347	22354
13	28.7	0.011	1.71151	0.00081347	22634
14	28.7	0.011	1.77222	0.00081347	23437
15	28.7	0.011	1.79559	0.00081347	23746
16	28.7	0.011	1.80630	0.00081347	23888
17	28.7	0.011	1.81008	0.00081347	23938
18	28.7	0.011	1.82061	0.00081347	24077
19	28.7	0.011	1.82399	0.00081347	24122

Universitas Indonesia

20	28.7	0.011	1.82863	0.00081347	24183
21	28.7	0.011	1.85189	0.00081347	24491

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

Re = bilangan Reynolds

4.1.3 Perhitungan Data menggunakan 1000 PPM (PEG 4000)

4.1.2.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 1000 PPM (PEG 4000) T = 30° C

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

Tabel 4.13 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) 1000 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H1 (m)	H2 (m)	H3 (m)	H 12 (m)	H 23 (m)
1	0.040	0.028	0.017	0.012	0.011
2	0.089	0.060	0.034	0.029	0.026
3	0.126	0.092	0.062	0.033	0.030
4	0.189	0.131	0.079	0.057	0.052
5	0.232	0.154	0.083	0.078	0.071
6	0.185	0.097	0.086	0.088	0.081
7	0.606	0.341	0.100	0.265	0.241
8	0.951	0.543	0.173	0.408	0.370
9	1.230	0.701	0.224	0.529	0.477
10	1.403	0.803	0.263	0.600	0.540
11	1.523	0.872	0.287	0.651	0.585
12	1.540	0.888	0.302	0.652	0.586
13	1.652	0.948	0.317	0.703	0.631
14	1.689	0.968	0.321	0.721	0.647
15	1.702	0.976	0.325	0.726	0.651
16	1.721	0.989	0.332	0.732	0.657
17	1.722	0.989	0.332	0.733	0.657
18	1.738	0.997	0.332	0.741	0.665
19	1.746	1.000	0.332	0.745	0.668
20	1.773	1.015	0.335	0.758	0.680

Dengan :

H1 = ketinggian manometer pertama

H2 = ketinggian manometer kedua

H3 = ketinggian manometer ketiga

H 12 = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

H 23 = beda ketinggian antara manometer kedua dengan ketiga

Dari perbedaan ketinggian (H) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan

dengan persamaan $p = \rho \cdot g \cdot H$, dimana :

$\rho = 979 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 30^\circ \text{ C}$

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

Tabel 4.14 Data Perbedaan Tekanan (Δp) 1000 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	p 12 (Pa)	p 23 (Pa)
1	0.012	0.011	115	106
2	0.029	0.026	277	252
3	0.033	0.030	321	292
4	0.057	0.052	550	503
5	0.078	0.071	748	680
6	0.088	0.081	845	782
7	0.265	0.241	2540	2315
8	0.408	0.370	3923	3553
9	0.529	0.477	5079	4581
10	0.600	0.540	5762	5185
11	0.651	0.585	6253	5620
12	0.652	0.586	6260	5626
13	0.703	0.631	6756	6064
14	0.721	0.647	6926	6214
15	0.726	0.651	6970	6253
16	0.732	0.657	7032	6307
17	0.733	0.657	7039	6313
18	0.741	0.665	7120	6385
19	0.745	0.668	7159	6420
20	0.758	0.680	7283	6529

4.1.3.2 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 4.15 Data Debit Aliran (Q) 1000 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	Waktu (t) (s)	Volume (v) (m ³)	Debit (Q) (m ³ /s)
1	6.21	0.00010	0.00002
2	6.26	0.00017	0.00003
3	6.61	0.00019	0.00003
4	6.5	0.00026	0.00004
5	6.13	0.00029	0.00005
6	6.25	0.00032	0.00005
7	6.16	0.00059	0.00010
8	6.16	0.00075	0.00012
9	6.16	0.00087	0.00014
10	5.81	0.00089	0.00015
11	6.22	0.00099	0.00016
12	6.28	0.00101	0.00016
13	6.42	0.00107	0.00017
14	6.01	0.00102	0.00017
15	6.48	0.00110	0.00017
16	5.88	0.00101	0.00017
17	6.24	0.00107	0.00017
18	6.25	0.00108	0.00017
19	5.90	0.00102	0.00017
20	6.14	0.00107	0.00017

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) 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 4.16 Data Kecepatan Aliran (V) 1000 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	D in (m)	A pipa (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)
1	0.01100	0.000095	0.00002	0.1713
2	0.01100	0.000095	0.00003	0.2836
3	0.01100	0.000095	0.00003	0.3088
4	0.01100	0.000095	0.00004	0.4211
5	0.01100	0.000095	0.00005	0.5024
6	0.01100	0.000095	0.00005	0.5333
7	0.01100	0.000095	0.00010	1.0036

Universitas Indonesia

8	0.01100	0.000095	0.00012	1.2882
9	0.01100	0.000095	0.00014	1.4941
10	0.01100	0.000095	0.00015	1.6063
11	0.01100	0.000095	0.00016	1.6837
12	0.01100	0.000095	0.00016	1.6847
13	0.01100	0.000095	0.00017	1.7602
14	0.01100	0.000095	0.00017	1.7855
15	0.01100	0.000095	0.00017	1.7920
16	0.01100	0.000095	0.00017	1.8012
17	0.01100	0.000095	0.00017	1.8022
18	0.01100	0.000095	0.00017	1.8141
19	0.01100	0.000095	0.00017	1.8198
20	0.01100	0.000095	0.00017	1.8378

Dengan :

D in = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 11 mm

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

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

4.1.3.3 Perhitungan Faktor Gesekan

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

Tabel 4.17 Data Faktor Gesekan (f) Aliran 1000 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	D in (m)	L 12 (m)	L 23 (m)	Kecepatan (V) (m/s)	F 12	f 23
1	0.012	0.011	0.01100	2	2	0.1713	0.04403	0.04043
2	0.029	0.026	0.01100	2	2	0.2836	0.03864	0.03524
3	0.033	0.030	0.01100	2	2	0.3088	0.03779	0.03439
4	0.057	0.052	0.01100	2	2	0.4211	0.03486	0.03186
5	0.078	0.071	0.01100	2	2	0.5024	0.03329	0.03029
6	0.088	0.081	0.01100	2	2	0.5333	0.03339	0.03088
7	0.265	0.241	0.01100	2	2	1.0036	0.02834	0.02583
8	0.408	0.370	0.01100	2	2	1.2882	0.02657	0.02406
9	0.529	0.477	0.01100	2	2	1.4941	0.02556	0.02305
10	0.600	0.540	0.01100	2	2	1.6063	0.02509	0.02258
11	0.651	0.585	0.01100	2	2	1.6837	0.02478	0.02227

12	0.652	0.586	0.01100	2	2	1.6847	0.02478	0.02227
13	0.703	0.631	0.01100	2	2	1.7602	0.02450	0.02199
14	0.721	0.647	0.01100	2	2	1.7855	0.02441	0.02190
15	0.726	0.651	0.01100	2	2	1.7920	0.02439	0.02188
16	0.732	0.657	0.01100	2	2	1.8012	0.02435	0.02184
17	0.733	0.657	0.01100	2	2	1.8022	0.02435	0.02184
18	0.741	0.665	0.01100	2	2	1.8141	0.02431	0.02180
19	0.745	0.668	0.01100	2	2	1.8198	0.02429	0.02178
20	0.758	0.680	0.01100	2	2	1.8378	0.02423	0.02172

Dengan :

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

H 23 = Perbedaan ketinggian manometer kedua dengan ketiga (m)

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

L 23 = Jarak antara manometer kedua dengan ketiga (m)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

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

f 23 = faktor gesekan yang terjadi antara manometer kedua dengan ketiga

4.1.3.4 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 4.18 Data Bilangan Reynolds (Re) 1000 ppm (Peg 4000)

Bukaan Katup	T (°C)	D in (m)	Kecepatan (V) (m/s)	ν (m ² /s)	Re
1	30	0.01100	0.1713	0.0007911	2332
2	30	0.01100	0.2836	0.0007911	3860
3	30	0.01100	0.3088	0.0007911	4204
4	30	0.01100	0.4211	0.0007911	5732
5	30	0.01100	0.5024	0.0007911	6839
6	30	0.01100	0.5333	0.0007911	7260
7	30	0.01100	1.0036	0.0007911	13662
8	30	0.01100	1.2882	0.0007911	17535

9	30	0.01100	1.4941	0.0007911	20339
10	30	0.01100	1.6063	0.0007911	21867
11	30	0.01100	1.6837	0.0007911	22920
12	30	0.01100	1.6847	0.0007911	22934
13	30	0.01100	1.7602	0.0007911	23961
14	30	0.01100	1.7855	0.0007911	24305
15	30	0.01100	1.7920	0.0007911	24394
16	30	0.01100	1.8012	0.0007911	24519
17	30	0.01100	1.8022	0.0007911	24533
18	30	0.01100	1.8141	0.0007911	24695
19	30	0.01100	1.8198	0.0007911	24773
20	30	0.01100	1.8378	0.0007911	25018

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

Re = Bilangan Reynolds

4.1.4 Perhitungan Data menggunakan 1200 PPM (PEG 4000)

4.1.4.1 Perhitungan Perbedaan Tekanan untuk 1200 PPM (PEG 4000) T = 28,7° C

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

Tabel 4.19 Data Perbedaan Ketinggian Manometer (ΔH) 1200 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H1 (m)	H2 (m)	H3 (m)	H 12 (m)	H 23 (m)
1	0.046	0.032	0.019	0.014	0.013
2	0.077	0.048	0.019	0.029	0.029
3	0.107	0.065	0.024	0.042	0.041
4	0.155	0.092	0.030	0.063	0.062
5	0.173	0.102	0.032	0.071	0.070
6	0.234	0.127	0.034	0.101	0.099
7	0.579	0.325	0.11	0.238	0.231
8	0.891	0.510	0.19	0.356	0.346
9	1.186	0.660	0.223	0.489	0.474
10	1.361	0.751	0.248	0.565	0.548
11	1.546	0.851	0.28	0.643	0.623
12	1.629	0.901	0.303	0.673	0.652
13	1.667	0.926	0.317	0.686	0.664
14	1.691	0.939	0.321	0.696	0.674
15	1.722	0.954	0.324	0.710	0.687
16	1.728	0.957	0.325	0.713	0.690

17	1.749	0.967	0.326	0.723	0.700
18	1.771	0.977	0.326	0.734	0.711
19	1.774	0.979	0.327	0.735	0.712
20	1.801	0.990	0.327	0.749	0.725

Dengan :

H1 = ketinggian manometer pertama

H2 = ketinggian manometer kedua

H3 = ketinggian manometer ketiga

H 12 = beda ketinggian antara manometer pertama dengan kedua

H 23 = beda ketinggian antara manometer kedua dengan ketiga

Dari perbedaan ketinggian (H) maka kita dapat mencari perbedaan tekanan

dengan persamaan $p = \rho \cdot g \cdot H$, dimana :

$\rho = 980 \text{ kg/m}^3$ pada $T = 28,7^\circ \text{C}$

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

Tabel 4.20 Data Perbedaan Tekanan (Δp) 1200 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	p 12 (Pa)	p 23 (Pa)
1	0.014	0.013	132	130
2	0.029	0.029	283	277
3	0.042	0.041	403	395
4	0.063	0.062	608	594
5	0.071	0.070	684	669
6	0.101	0.099	973	950
7	0.238	0.231	2285	2223
8	0.356	0.346	3421	3323
9	0.489	0.474	4702	4560
10	0.565	0.548	5432	5265
11	0.643	0.623	6183	5989
12	0.673	0.652	6475	6270
13	0.686	0.664	6594	6385
14	0.696	0.674	6693	6481
15	0.710	0.687	6826	6609
16	0.713	0.690	6853	6635
17	0.723	0.700	6951	6729
18	0.734	0.711	7059	6833
19	0.735	0.712	7068	6842
20	0.749	0.725	7201	6970

4.1.4.2 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 4.21 Data Debit Aliran (Q) 1200 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	Waktu (t) (s)	Volume (v) (m ³)	Debit (Q) (m ³ /s)
1	6.09	0.00011	0.00002
2	6.03	0.00016	0.00003
3	6.1	0.00020	0.00003
4	5.97	0.00025	0.00004
5	6.18	0.00028	0.00005
6	6.22	0.00034	0.00006
7	5.87	0.00053	0.00009
8	6.19	0.00070	0.00011
9	5.94	0.00081	0.00014
10	5.90	0.00087	0.00015
11	6.00	0.00096	0.00016
12	6.11	0.00100	0.00016
13	6.20	0.00103	0.00017
14	6.08	0.00102	0.00017
15	5.80	0.00098	0.00017
16	6.07	0.00103	0.00017
17	6.20	0.00106	0.00017
18	6.08	0.00105	0.00017
19	6.30	0.00109	0.00017
20	5.80	0.00101	0.00017

Dengan :

t = waktu (s)

v = volume (m³)

Debit (Q) 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 4.22 Data Kecepatan Aliran (V) 1200 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	D in (m)	A pipa (m ²)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)
1	0.011	0.000095	0.00002	0.1843
2	0.011	0.000095	0.00003	0.2854
3	0.011	0.000095	0.00003	0.3497
4	0.011	0.000095	0.00004	0.4427
5	0.011	0.000095	0.00005	0.4738
6	0.011	0.000095	0.00006	0.5802
7	0.011	0.000095	0.00009	0.9479
8	0.011	0.000095	0.00011	1.1956
9	0.011	0.000095	0.00014	1.4358
10	0.011	0.000095	0.00015	1.5602
11	0.011	0.000095	0.00016	1.6810
12	0.011	0.000095	0.00016	1.7263
13	0.011	0.000095	0.00017	1.7446
14	0.011	0.000095	0.00017	1.7596
15	0.011	0.000095	0.00017	1.7797
16	0.011	0.000095	0.00017	1.7837
17	0.011	0.000095	0.00017	1.7983
18	0.011	0.000095	0.00017	1.8143
19	0.011	0.000095	0.00017	1.8158
20	0.011	0.000095	0.00017	1.8353

Dengan :

D in = Diameter dalam pipa (m) yang digunakan adalah 11 mm

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

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

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

Tabel 4.23 Data Faktor Gesekan Aliran (f) 1200 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	H 12 (m)	H 23 (m)	D in (m)	L 12 (m)	L 23 (m)	Debit (Q) (m ³ /s)	Kecepatan (V) (m/s)	f 12	f 23
1	0.014	0.013	0.011	2	2	0.00002	0.1843	0.04367	0.04290
2	0.029	0.029	0.011	2	2	0.00003	0.2854	0.03901	0.03824
3	0.042	0.041	0.011	2	2	0.00003	0.3497	0.03701	0.03624
4	0.063	0.062	0.011	2	2	0.00004	0.4427	0.03481	0.03404
5	0.071	0.070	0.011	2	2	0.00005	0.4738	0.03420	0.03343
6	0.101	0.099	0.011	2	2	0.00006	0.5802	0.03048	0.02971
7	0.238	0.231	0.011	2	2	0.00009	0.9479	0.02658	0.02581
8	0.356	0.346	0.011	2	2	0.00011	1.1956	0.02489	0.02412
9	0.489	0.474	0.011	2	2	0.00014	1.4358	0.02363	0.02286
10	0.565	0.548	0.011	2	2	0.00015	1.5602	0.02308	0.02231
11	0.643	0.623	0.011	2	2	0.00016	1.6810	0.02259	0.02182
12	0.673	0.652	0.011	2	2	0.00016	1.7263	0.02242	0.02165
13	0.686	0.664	0.011	2	2	0.00017	1.7446	0.02235	0.02158
14	0.696	0.674	0.011	2	2	0.00017	1.7596	0.02229	0.02152
15	0.710	0.687	0.011	2	2	0.00017	1.7797	0.02222	0.02145
16	0.713	0.690	0.011	2	2	0.00017	1.7837	0.02221	0.02144
17	0.723	0.700	0.011	2	2	0.00017	1.7983	0.02216	0.02139
18	0.734	0.711	0.011	2	2	0.00017	1.8143	0.02210	0.02133
19	0.735	0.712	0.011	2	2	0.00017	1.8158	0.02209	0.02132
20	0.749	0.725	0.011	2	2	0.00017	1.8353	0.02203	0.02126

Dengan :

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

H 23 = Perbedaan ketinggian manometer kedua dengan ketiga (m)

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

L 23 = Jarak antara manometer kedua dengan ketiga (m)

D in = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

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

f 23 = faktor gesekan yang terjadi antara manometer kedua dengan ketiga

4.1.4.4 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 4.24 Data Bilangan Reynolds (Re) 1200 ppm (PEG 4000)

Bukaan Katup	T ($^{\circ}C$)	D in (m)	Kecepatan (V) (m/s)	ν (m^2/s)	Re
1	28.7	0.011	0.1843	0.00081347	2442
2	28.7	0.011	0.2854	0.00081347	3782
3	28.7	0.011	0.3497	0.00081347	4634
4	28.7	0.011	0.4427	0.00081347	5866
5	28.7	0.011	0.4738	0.00081347	6279
6	28.7	0.011	0.5802	0.00081347	7899
7	28.7	0.011	0.9479	0.00081347	9053
8	28.7	0.011	1.1956	0.00081347	14840
9	28.7	0.011	1.4358	0.00081347	17415
10	28.7	0.011	1.5602	0.00081347	19459
11	28.7	0.011	1.6810	0.00081347	21222
12	28.7	0.011	1.7263	0.00081347	22354
13	28.7	0.011	1.7446	0.00081347	22634
14	28.7	0.011	1.7596	0.00081347	23437
15	28.7	0.011	1.7797	0.00081347	23746
16	28.7	0.011	1.7837	0.00081347	23888
17	28.7	0.011	1.7983	0.00081347	23938
18	28.7	0.011	1.8143	0.00081347	24077
19	28.7	0.011	1.8158	0.00081347	24122
20	28.7	0.011	1.8353	0.00081347	24183

Dengan :

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

D in = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

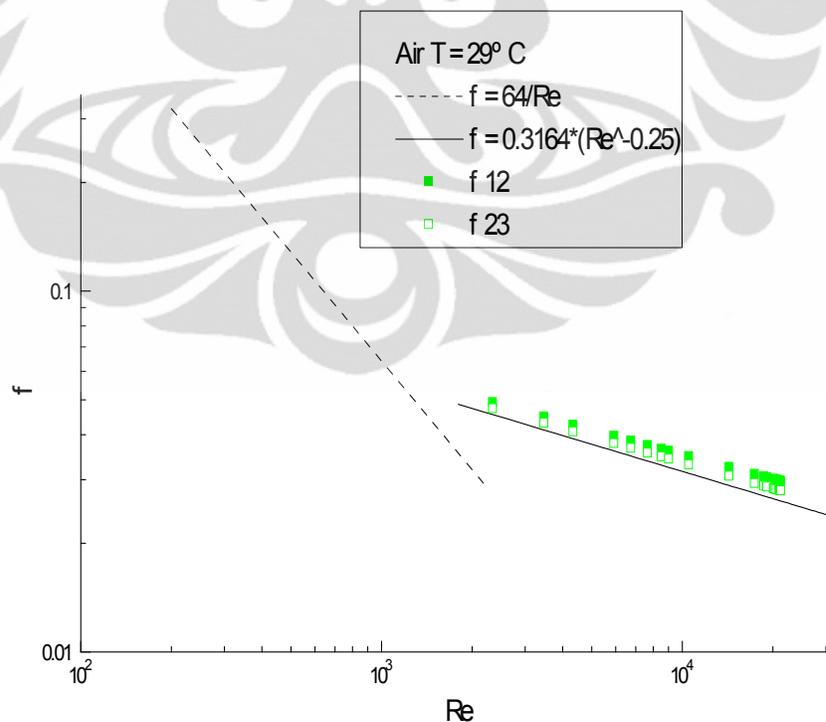
ν = Viskositas kinematis (m^2/s), berdasarkan fungsi temperatur

Re = Bilangan Reynolds

4.2 ANALISIS DATA

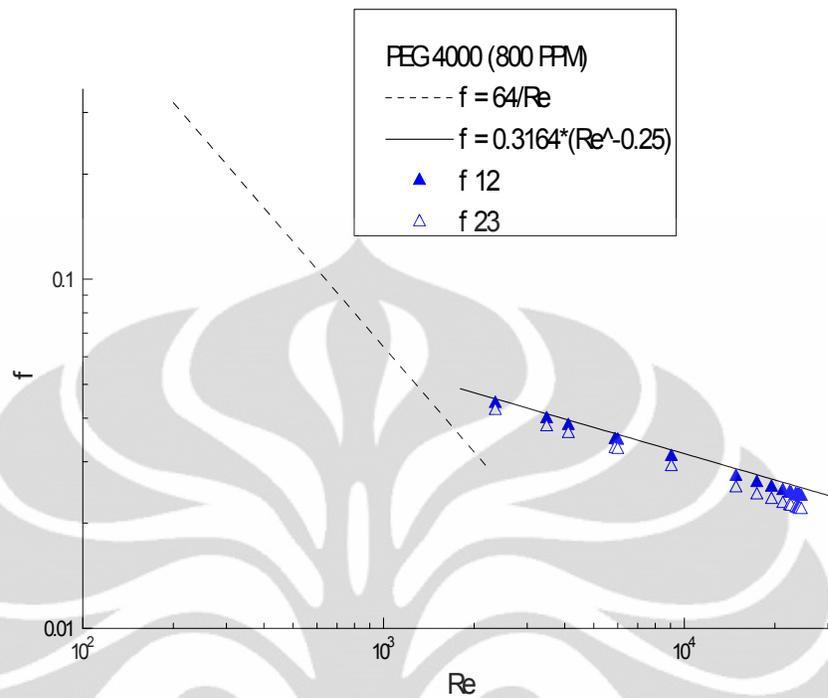
Dapat kita lihat bahwa dengan ditambahkan konsentrasi Larutan PEG 4000 kedalam air murni, maka faktor gesekan (f) akan mengalami penurunan sebesar 16,7 % - 19,2 % pada f 12 dan 18,5 % - 19,8 % pada f 23. Bila kita membandingkan dengan faktor gesekan (f) yang didapat dari hasil percobaan air murni dengan percobaan penambahan Larutan PEG 4000 pada Bilangan Reynolds (Re) yang hampir mendekati sama, maka faktor gesekan dari hasil percobaan air murni lebih besar dari pada percobaan dengan penambahan Larutan PEG 4000 kedalam air. Sedangkan untuk Bilangan Reynold (Re) yang ditambahkan Larutan PEG 4000 lebih besar dibandingkan dengan air murni. Semakin besar konsentrasi Larutan PEG 4000 yang ditambahkan kedalam air, maka Bilangan Reynold (Re) pun makin besar juga.

Dan dari tabel diatas maka kita dapat menggambarkan grafik faktor gesekan (f) dengan Bilangan Reynold (Re) pada percobaan air murni, penambahan Larutan PEG 4000 dengan konsentrasi 800 ppm, 1000 ppm, dan 1200 ppm. Sebagai berikut :

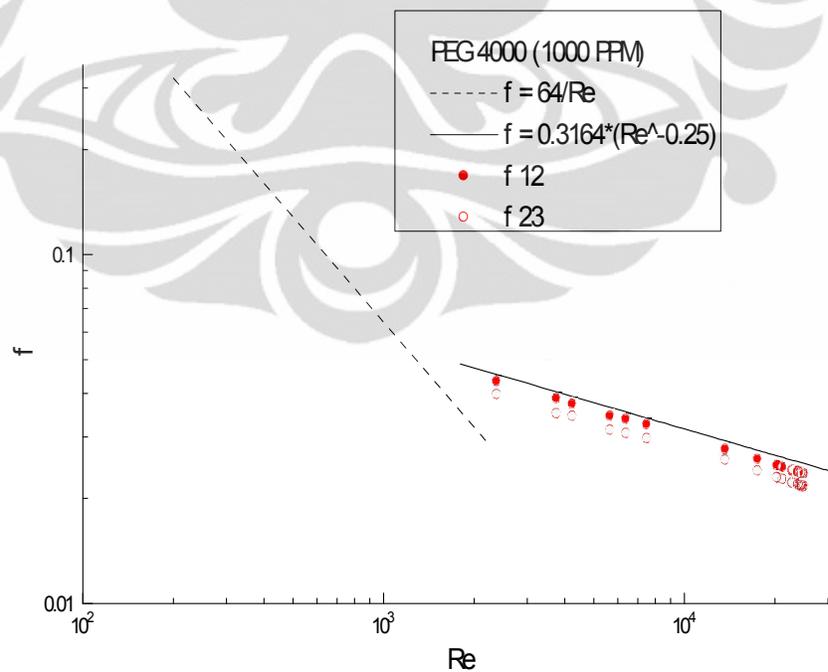


Grafik 4.1 Hasil Percobaan Dengan Air Murni

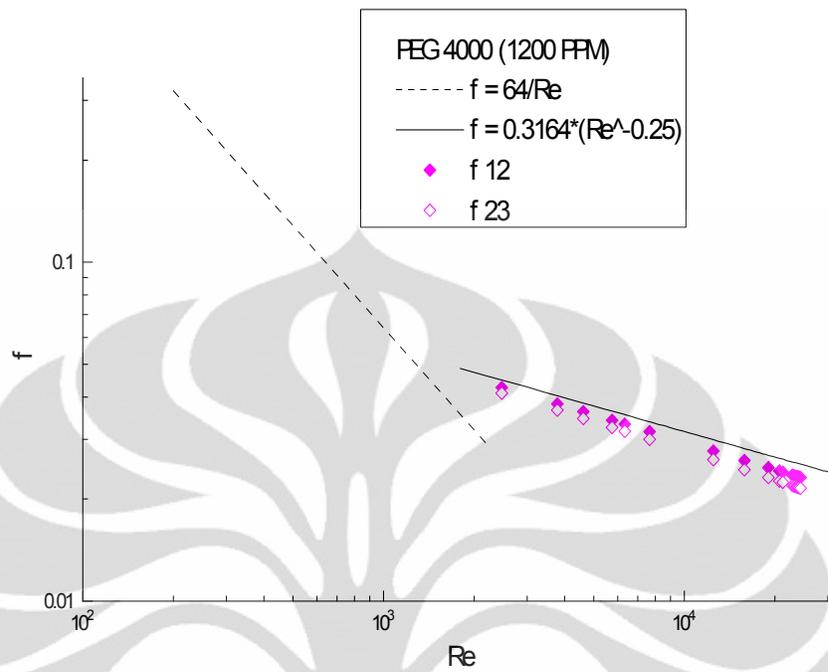
Universitas Indonesia



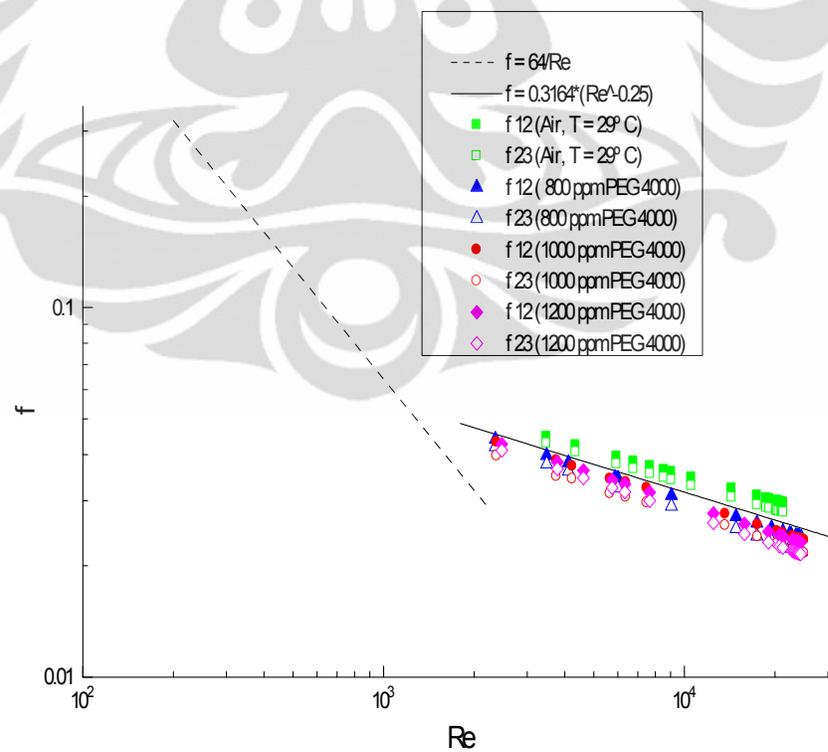
Grafik 4.2 Hasil Percobaan Larutan PEG 4000 800 PPM



Grafik 4.3 Hasil Percobaan Larutan PEG 4000 1000 PPM



Grafik 4.3 Hasil Percobaan Larutan PEG 4000 1200 PPM



Grafik 4.4 Koefisien Gesek (f) dengan Bilangan Reynold (Re) Untuk Gabungan

Universitas Indonesia

BAB 5

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain :

1. Dengan menambahkan Larutan PEG 4000 kedalam air murni terjadi Drag Reduction dengan konsentrasi 800 PPM, 1000 PPM, dan 1200 PPM.
2. Semakin ditambahkan konsentrasi larutan PEG 4000) kedalam air murni maka Drag Reduction (DR) makin bertambah juga dalam aliran turbulen.
3. Agent Drag reduction (ADR) diperoleh dengan menggunakan Larutan PEG 4000 pada konsentrasi 800 PPM sebesar 16,7 % pada f 12 dan 18,5 % pada f 23; pada konsentrasi 1000 PPM sebesar sebesar 17,4 % pada f 12 dan 18,9 % pada f 23; dan pada konsentrasi 1200 PPM sebesar 19,2 % pada f 12 dan 19,8 % pada f 23 dengan Bilangan Reynold (Re) sekitar 21.222

SARAN

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya apabila suatu hari nanti penelitian ini akan dilanjutkan atau dikembangkan atau disempurnakan antara lain sebagai berikut :

1. Sebaiknya dalam penelitian kedepannya, untuk mengalirkan fluida tidak secara langsung didapat dari pompa. Dikarenakan aliran langsung dari pompa tidak stabil, sebaiknya menggunakan alat yang kestabilan alirannya sudah stabil, misalnya air dari pompa ditampung dahulu kedalam tangki, lalu tangki yang sudah dilubangi sampingnya dialirkan kedalam pipa bulat acrylic.
2. Faktor dalam pembuatan manometer sebaiknya dilakukan dengan sangat hati – hati karena akan berpengaruh pada pembacaan perbedaan head yang terjadi.
3. Perhitungan debit, serta penambahan campuran untuk larutan menggunakan alat yang lebih presisi.
4. Dalam pengambilan data sebaiknya tunggu sampai aliran sudah stabil dan tidak ada lagi udara didalam manometer.

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.
5. *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.
6. *Yanuar.* “Pengurangan Hambatan Turbulen Dengan Aditif Polimer” *Journal Teknologi, Edisi No. 1. Tahun XXI. Maret 2007, P. 32-38.*
7. *Yanuar.* “Kurva Aliran Dengan Pipa Kapiler” *Proceding Seminar Nasional ke 13, KPTU FT UGM. Juni 2007. P. 4-55.*
8. *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.*
9. *White A*, Turbulent Drag Reduction With PolymerAdditives, “*Journal Mechanical Engineering Science, Vol 8. No. 4, 1966.*
10. *Virk, P. S.*, 1971, “Drag Reduction in Rough Pipes”, *Journal of Fluid 11. Mechanics. Vol. 45. P. 225*

PENGURANGAN KOEFISIEN GESEK LARUTAN PEG 4000 800 PPM, 1000 PPM, 1200PPM PADA PIPA BULAT

Nurdiansyah Marpaung

Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia

ABSTRAK

Eksperimen ini menggunakan pipa bulat acrylic berdiameter luar 12,7 mm dan diameter dalam pipa 11 mm pada aliran Turbulen. Aliran dalam pipa tersebut diuji dengan menambahkan Larutan PEG 4000 kedalam air murni pada konsentrasi 800 ppm, 1000 ppm dan 1200 ppm dengan aliran Turbulen. Dari hasil data, tabel, dan grafik menunjukkan bahwa dengan penambahan Larutan PEG 4000 pada konsentrasi 800 ppm, 1000 ppm, dan 1200 ppm kedalam air murni terjadi Drag Reduction. Dari hasil data eksperimen penambahan dengan konsentrasi 800 ppm Larutan PEG 4000 yang dicampurkan kepada air murni dapat menurunkan gesekan sebesar 16,7 % pada f 12 dan 18,5 % pada f 23, sedangkan dengan konsentrasi 1000 ppm polimer PEG 4000 dapat menurunkan gesekan sebesar 17,4 % pada f 12 dan 18,9 % pada f 23, dan dengan konsentrasi 1200 ppm Larutan PEG 4000 dapat menurunkan gesekan sebesar 19,2 % pada f 12 dan 19,8 % pada f 23 dengan Bilangan Reynold 21.222.

Kata Kunci : Drag Reduction, Poly Ethylene Glycol (PEG 4000), Pressure Drop, Pipa Bulat Acrylic.

1. Pendahuluan

Drag Reducing Agent (DRA) atau yang lebih kita kenal sebagai Drag Reduction (DR), adalah suatu jenis bahan kimia yang berfungsi untuk meminimalkan atau menurunkan drag atau frictional pressure loss/drop dalam aliran fluida dan untuk penghematan energi.

2. Tinjauan Pustaka

Fluida Newtonian

Fluida Newtonian adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva *shear stress* dan gradient kecepatan yang linier, yang digolongkan ke dalam fluida ini antara lain: air, udara, ethanol, benzene, dsb. Fluida Newtonian ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida,

karena viskositas fluida ini tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut, viscositas akan berubah jika terjadi perubahan temperature.

Fluida Non-Newtonian

Fluida Non-Newtonian adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), gradient kecepatan (*shear rate*) dan temperature. Dengan kata lain, kekentalan (*viscosity*) merupakan fungsi daripada waktu. Fluida Non-Newtonian ini tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran. Sebagai contoh dari Fluida Non-Newtonian ini antara lain: cat, minyak, pelumas, lumpur, darah, obat-obatan cair, bubur kertas, dan sebagainya.

Pada Fluida Non-Newtonian secara umum hubungan tegangan geser (*shear*

stress) dan gradient kecepatan (shear rate) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) = K (\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Dengan nilai yang didapat dari :

$$\tau = \frac{D \Delta P}{4L} \quad \& \quad \dot{\gamma} = \frac{8V}{D} \quad (2)$$

Studi tentang aliran fluida non-Newtonian ini sangat penting di dalam bidang rekayasa, karena fluida tipe ini banyak digunakan di dalam proses pada pabrik – pabrik dari berbagai tipe industry. Total head loss, h_t , disebabkan dari energy pemipaan yang terdiri dari gabungan kerugian dalam suatu potongan pipa lurus, dan kerugian dari beberapa fitting dan valve yang ada di system. Jadi di dalam kasus dimana aliran adalah suatu fluida yang incompressible, aliran steady dan isothermal, tanpa menggunakan pompa atau gaya yang bekerja, total head loss bias dinyatakan dengan konsep kesetimbangan energy mekanikal secara makroskopis yang di aplikasikan pada dua titik dari semua macam tipe pemipaan, yaitu:

$$h_t = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + z_1 - z_2 \quad (3)$$

Power Law Index

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

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

Dan dengan mengetahui besar dari nilai tegangan geser yang terjadi, profil kecepatannya, serta *power law index* (n) maka nilai K (n) juga dapat diketahui yaitu persamaan (2.5). Jika nilai K sudah diketahui maka kita juga sudah bisa

menghitung *Generalized Reynold Number* dengan persamaan sebagai berikut:

$$Re^* = \frac{\rho_m D^n U^{2-n}}{\mu} \quad (5)$$

ALIRAN FLUIDA

Aliran fluida adalah suatu perjalanan fluida melewati sitem tertentu dari suatu tempat menuju tempat lain (Munson,1994). Dan dalam suatu aliran biasanya akan terdapat hambatan aliran yang disebabkan oleh berbagai macam faktor. Dengan adanya hambatan tersebut akan menyebabkan turunnya energy dari fluida yang secara umum disebut dengan *head loss* (kerugian tinggi tekanan) atau *pressure drop* (penurunan tekanan) yang disebabkan oleh pengaruh gesekan antara fluida dan dinding dari system aliran karena sifat dari fluida yang mengikuti bentuk dari dindingnya.

Penelitian yang dilakukan pada tahun 1883 oleh Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter: kerapatan, kecepatan (V), diameter (D), dan *viscositas absolute* (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (f) dan kekerasan relative dari dinding pada $(s/D)s$ [4]. Jadi:

$$f = f(Re, s/D) \quad (6)$$

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa menyatakan kekerasan mempunyai efek sehingga didapatkan faktor gesekan darcy (f) dengan formulasi:

$$hf = \frac{f \cdot L}{D(V^2/2g)} \quad (7)$$

SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat-sifat fluida yang perlu diketahui antara lain:

Density

Semua fluida memiliki sifat *density* ini, yang dimaksud dengan densitas adalah jumlah zat yang terkandung di dalam suatu unit

volume, densitas dapat dinyatakan dalam tiga bentuk yaitu:

Densitas massa

Perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (8)$$

Berat spesifik

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

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (9)$$

Densitas relative

Densitas relative disebut juga *specific gravity* (s.g) yaitu perbandingan antara densitas massa dengan berat spesifik suatu zat terhadap densitas massa atau berat spesifik dari suatu zat standar, dimana yang dianggap memiliki zat standar adalah air pada temperature 4⁰C. Densitas relative ini tidak memiliki satuan.

Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa untuk laju perubahan bentuk sudut fluida tertentu, maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas.

Bilangan Reynolds

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

laminar bila kecepataannya 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 (Streeter, V.L., 1996). Diatas nilai 4000 akan menghasilkan aliran turbulen dan intensitas turbulensi meningkat dengan meningkatnya bilangan Reynolds.

Bilangan ini menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskos) pada pipa bulat dengan aliran penuh berlaku:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \quad (10)$$

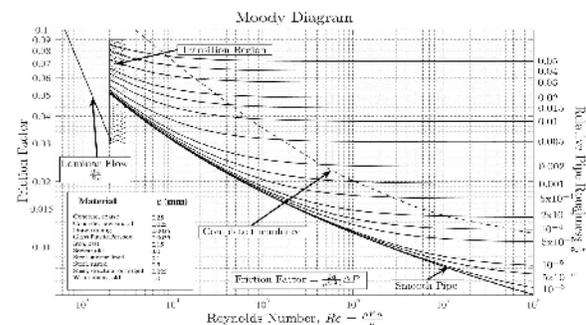
Koefisien Gesek

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

$$f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot \Delta H}{l \cdot V^2} \quad (11)$$

dimana f adalah nilai koefisien gesek.

Persamaan ini 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:

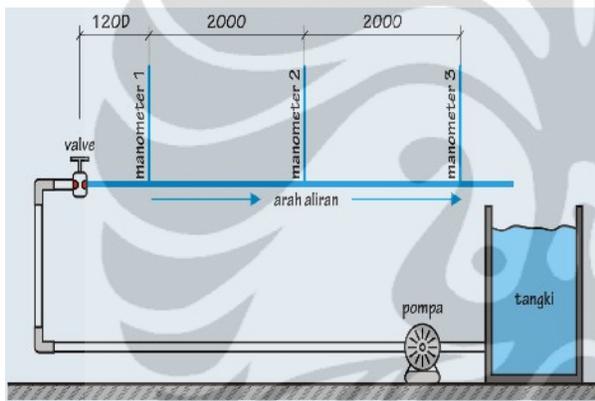


Grafik 2.1 Diagram Moody (Munson, 1994)

3. Prinsip kerja alat uji

Berdasarkan tujuan pengujian, perangkat alat uji ini digunakan untuk melakukan pengujian drag reduction dengan menggunakan fluida berupa campuran air murni dengan ditambahkan Larutan PEG 4000 dengan PPM tertentu. Dari pengujian yang dilakukan ini akan diperoleh data-data yang kemudian diolah sehingga dapat menunjukkan karakteristik drag reduction pada pipa bulat acrylic. Untuk mendapatkan data-data tersebut maka pengujian harus dilakukan sesuai dengan kondisi yang sudah disetujui oleh dosen pembimbing.

Eksperimental Set Up



Gambar 1. Eksperimental Set Up

Gambar 1 menunjukkan eksperimental set up, dimana alat uji terdiri dari pipa bulat acrylic dengan diameter dalam (D_{in}) 11 mm dan diameter luar (D_{out}) 12,7 mm. Pada alat uji ini di pasang tiga buah pressure gauge, dimana pressure gauge pertama terpasang pada jarak $120 \times D_{in}$ untuk menjaga aliran berkembang penuh (*fully developed*), pressure gauge kedua $120 \times D_{in} + 2000$ mm dan pressure gauge ketiga terpasang $120 \times D_{in} + 4000$ mm dari ujung valve. Fluida mengalir dari tangki lalu di hisap dengan pompa air yang nantinya akan di distribusikan ke pipa bulat acrylic. Debit aliran fluida yang keluar dari ujung pipa bulat acrylic di ukur dengan menggunakan gelas ukur lalu di timbang dengan menggunakan timbangan digital untuk

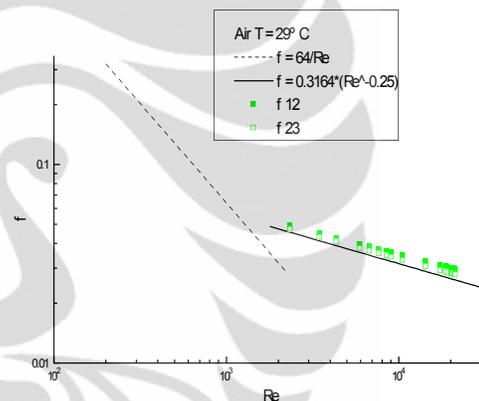
mendapatkan laju aliran. Laju aliran diukur dengan mengumpulkan debit yang keluar dari pipa dalam periode waktu tertentu.

Komponen Alat Uji

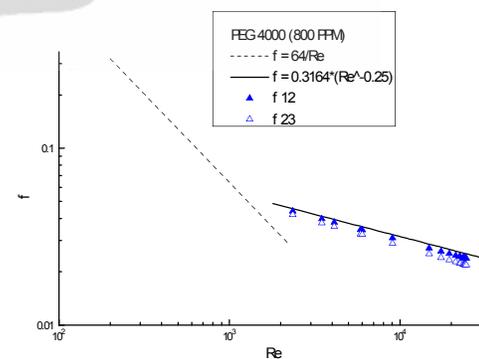
Komponen pada penelitian ini adalah :

1. Pipa Bulat Acrylic D_{in} 11 mm
2. Pompa Air
3. Manometer
4. Temperatur
5. Timbangan Digital
6. Tangki Penampung Fluida
7. Gelas ukur
8. Stopwatch

4. Pembahasan Dan Perhitungan

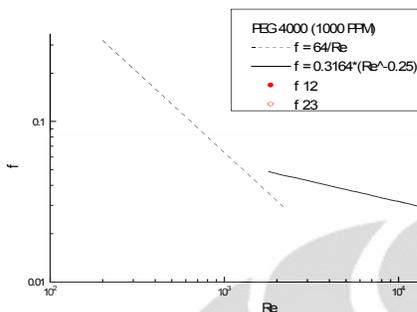


Gambar 2. Grafik hubungan koefisien gesek (f) dengan Bilangan Reynold (Re) untuk percobaan air murni dengan D_{in} 11 mm.

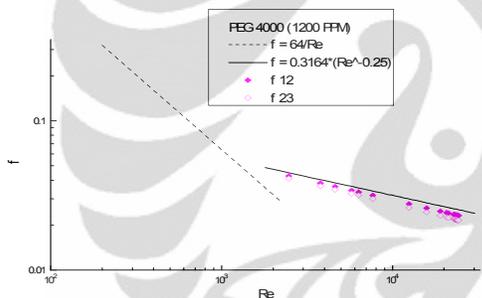


Gambar 3. Grafik hubungan koefisien gesek (f) dengan Bilangan Reynold (Re) untuk

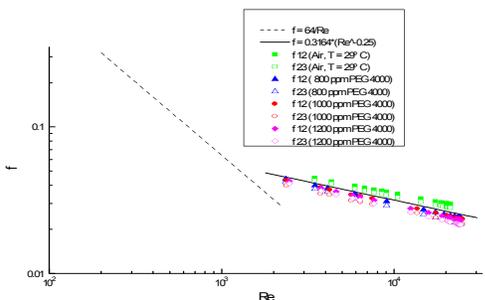
campuran Larutan PEG 4000 dengan konsentrasi 800 ppm dengan D in 11 mm.



Gambar 4. Grafik hubungan koefisien gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re) untuk campuran Larutan PEG 4000 dengan konsentrasi 1000 ppm dengan D in 11 mm.



Gambar 5. Grafik hubungan koefisien gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re) untuk campuran Larutan PEG 4000 dengan konsentrasi 1200 ppm dengan D in 11 mm.



Gambar 4. Grafik hubungan koefisien gesek (f) terhadap Bilangan Reynold (Re) untuk Gabungan

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan menambahkan Larutan PEG 4000 kedalam air murni terjadi Drag Reduction dengan konsentrasi 800 PPM, 1000 PPM, dan 1200 PPM.
2. Semakin ditambahkan konsentrasi Larutan PEG 4000 kedalam air murni maka Drag Reduction makin bertambah juga dalam aliran turbulen.
3. Agent Drag reduction (ADR) diperoleh dengan menggunakan Larutan PEG 4000 pada konsentrasi 800 PPM sebesar 16,7 % pada f 12 dan 18,5 % pada f 23; pada konsentrasi 1000 PPM sebesar 17,4 % pada f 12 dan 18,9 % pada f 23; dan pada konsentrasi 1200 PPM sebesar 19,2 % pada f 12 dan 19,8 % pada f 23 dengan Bilangan Reynold (Re) sekitar 21.222

Daftar Referensi

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.*

5. 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.
6. Yanuar. "Pengurangan Hambatan Turbulen Dengan Aditif Polimer" *Journal Teknologi, Edisi No. 1. Tahun XXI. Maret 2007, P. 32-38.*
7. Yanuar. "Kurva Aliran Dengan Pipa Kapiler" *Proceding Seminar Nasional ke 13, KPTU FT UGM. Juni 2007. P. 4-55.*
8. 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.*
9. White A, Turbulent Drag Reduction With PolymerAdditives, "*Journal Mechanical Engineering Science, Vol 8. No. 4, 1966.*
10. Virk, P. S., 1971, "Drag Reduction in Rough Pipes", *Journal of Fluid 11. Mechanics. Vol. 45. P. 225*