



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN KOEFISIEN GESEK DENGAN
MENGUNAKAN PEG 4000 200 PPM, 400 PPM, 600PPM
PADA PIPA BULAT DIAMETER 3MM**

SKRIPSI

**DENY AGUS IRIYANTO
0806368484**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN KOEFISIEN GESEK DENGAN
MENGUNAKAN PEG 4000 200 PPM, 400 PPM, 600PPM
PADA PIPA BULAT DIAMETER 3MM**

SKRIPSI

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

**DENY AGUS IRIYANTO
0806368484**

**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 : Deny Agus Iriyanto

NPM : 0806368484

Tanda Tangan : 

Tanggal : 23 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Deny Agus Iriyanto
NPM : 0806368484
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengurangan Koefisien Gesek Dengan Menggunakan PEG 4000 200 PPM, 400 PPM, 600 PPM Pada Pipa Bulat Diameter 3 mm

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 Talahatu, 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, 23 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 : Deny Agus Iriyanto
NPM : 0806368484
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**PENGARUH KOEFISIEN GESEK DENGAN MENGGUNAKAN PEG 4000
200 PPM, 400 PPM, 600 PPM
PADA PIPA BULAT DIAMETER 3mm**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 23 Juni 2011

Yang menyatakan



(Deny Agus Iriyanto)

ABSTRAK

Nama : DENY AGUS IRIYANTO
Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul : Pengurangan Koefisien Gesek Dengan Menggunakan PEG 4000, 200 PPM, 400 PPM, 600 PPM Pada P Bulat Diameter 3 mm

Aliran turbulen dari larutan polimer PEG 4000 untuk permukaan pipa stainless steel telah diteliti. Eksperimen ini menggunakan pipa stainless steel berdiameter luar 5 mm dan diameter dalam pipa 3 mm. Nilai dari kekasaran tersebut telah diukur tersebut dengan nilai kekasaran (k) 1.12 μm . Pipa tersebut diuji dengan konsentrasi polimer *polyethylene glycol* (PEG) 4000 200, 400 dan 600 ppm. Hasil menunjukkan bahwa karakteristik aliran dipengaruhi oleh penambahan konsentrasi polimer. Pada aliran turbulen tanpa additive kenaikan koefisien gesek terjadi akibat dari kondisi kekasaran dinding. Penambahan additive ke dalam air terlihat efektif pada permukaan pipa stainless steel. Penambahan 200 ppm additive polimer PEG 4000 pada bilangan Reynolds 8078 dapat menurunkan gesekan pada pipa stainless steel sebesar 65,27 persen, sedangkan dengan penambahan 200 ppm additive PEG 4000 penurunan gesekannya 20 persen.

Kata Kunci

Aliran Turbulen, Kekasaran dinding pipa, *Polimer Polyethylene glycol (PEG) 4000*, ppm, Pengurangan koefisien gesek, Reynold Number.

ABSTRACT

Name : DENY AGUS IRIYANTO
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING
Tittle : The Reduction Flow of Pressure Drop with PEG 4000,
200 PPM, 400 PPM, 600 PPM for Pipe Diameter 3 mm.

Turbulent flow of dilute polymer *polyethylene glycol* (PEG)4000 solutions in stainless steel pipes was studied. This experiment use stainless steel pipe with outside diameter (OD) 5mm and inside diameter (ID) 3mm. Inside pipe roughness is measured with relative roughness (k) 1.12 μm and 250, 500 and 1000 ppm for additive concentration. The results show that flow properties are influenced by polymer addition and surface roughness. In the turbulent flow regime without additive, the increasing of friction coefficient appeared to be effected by wall condition alone. Addition of polymer to water is effective for rough in stainless steel pipe. For example with addition of 600 ppm of polymer *polyethylene glycol* (PEG)4000 reduced drag in stainless steel pipe by 65,27 percent at Reynolds number 8078, whereas in 200 ppm addition tested drag was reduced only 20 percent.

Keywords:

Turbulent flow, dilute polymer Polyethylene glycol (PEG)4000, roughness, friction coefficient, ppm and Reynolds number.

DAFTAR ISI

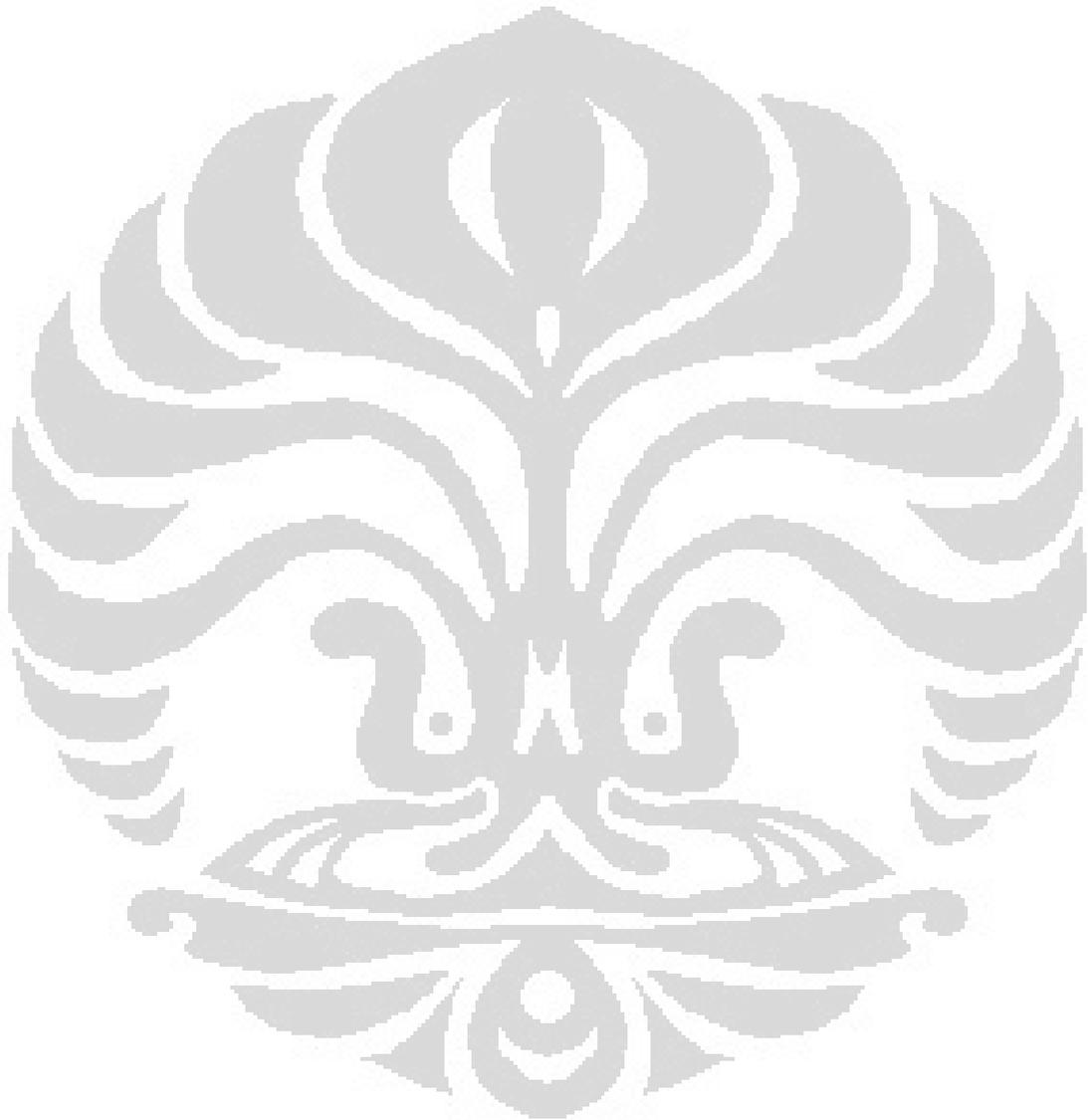
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 METODE PENELITIAN	2
1.6 METODE PENULISAN	3
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 KLASIFIKASI FLUIDA	5
2.1.1 Fluida Newtonian	5
2.1.2 Fluida Non Newtonian	5
2.1.3 Power Law Index	9
2.2 ALIRAN FLUIDA	10
2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA	11
2.3.1 Density	11
2.3.2 Viskositas	12
2.3.3 Bilangan Reynolds	13
2.3.4 Tegangan Geser Pada Fluida	14
2.3.5 Koefisien Gesek	15
2.3.6 Distribusi Kecepatan	17
2.4 POLYETHYLENE GLYCOL 4000 (PEG 4000)	18
3. DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN	20
3.1 SKEMATIK ALAT UJI	20
3.2 KONDISI PENGUJIAN	21
3.2.1 Test Section	21
3.2.2 Polymer	21
3.3 PRINSIP KERJA ALAT UJI	22
3.4 INSTALASI ALAT UJI	22
3.4.1 Pompa Air	23
3.4.2 Differential Pressure Transmitter	24
3.4.3 Temperature Indicator	25
3.4.4 Timbangan	26
3.4.5 Pipa Pengujian	26
3.5 PENGUKURAN KEKASARAN PIPA STAINLESS STEEL	27
3.5.1 Prosedur Kalibrasi Pembacaan Surfcom 120A	28

3.5.2	Prosedur Pengukuran Kekasaran Pipa Stainless Steel	29
3.6	METODE PENELITIAN.....	30
3.6.1	Unit Pengujian	30
3.6.2	Persiapan Pengujian	31
3.7	PROSEDUR PENGAMBILAN DATA.....	31
3.8	TAHAP PENGUJIAN	32
4.	SIMULASI DAN PERHITUNGAN	33
4.1	PERHITUNGAN DATA	33
4.2	PENGARUH METODE PENAMBAHAN LARUTAN POLYMER POLYETHYLENE GLYCOL 4000 (PEG 4000).....	35
4.3	PENGARUH PENAMBAHAN LARUTAN POLYMER POLYETHYLENE GLYCOL 4000 (PEG 4000).....	36
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1	KESIMPULAN.....	42
5.2	SARAN.....	42
	DAFTAR REFERENSI	43
	LAMPIRAN.....	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Properti Fisika Polyethylene Glycol (PEG) 4000.....	19
Tabel 3.1	Kekasaran Rata-rata Pipa Stainless Steel.....	30
Tabel 3.2	Konsentrasi Campuran Polyethylene Glycol (PEG) 4000.....	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik Fluida Non Newtonian.....	7
Gambar 2.2.	Grafik Fluida Rheoplectic dan Thixotropic	8
Gambar 2.3.	Profil Kecepatan.....	14
Gambar 2.4.	Perubahan Bentuk Akibat Gaya Geser.....	15
Gambar 2.5.	Distribusi Kecepatan	17
Gambar 3.1.	Skematik Alat Uji	20
Gambar 3.2.	Test Section.....	21
Gambar 3.3.	Pompa Air	23
Gambar 3.4.	Instalasi Differential Pressure Transmitter	24
Gambar 3.5.	Differential Pressure Transmitter.....	25
Gambar 3.6.	<i>Temperature Indicator</i>	25
Gambar 3.7.	Timbangan	26
Gambar 3.8.	Pipa Stainless Steel	26
Gambar 3.9.	Alat Ukur Kekasaran (Surfcom 120A)	27
Gambar 3.10	Rough Speciment (E-MC-824A)	27
Gambar 3.11	Pengukuran Pipa Dengan Surfcom 120A	28
Gambar 3.12.	Parameter dan Hasil Pengukuran Roughness Average (Ra) Dengan Surfcom 120A.	28
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan Kekasaran pipa Terhadap Re Air Murni.....	35
Gambar 4.2.	Diagram Penambahan Polimer Secara Langsung Dan Diinjeksikan.	36
Gambar 4.2.	Diagram Penambahan Polimer Secara Langsung Dan Diinjeksikan.	36
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan Kekasaran pipa Terhadap Re Air Murni Dengan penambahan Polimer PEG 4000 200 PPM.	38
Gambar 4.4.	Grafik Hubungan Kekasaran pipa Terhadap Re Air Murni Dengan penambahan Polimer PEG 4000 400 PPM.	39
Gambar 4.5.	Grafik Hubungan Kekasaran pipa Terhadap Re Air Murni Dengan penambahan Polimer PEG 4000 400 PPM.	39
Gambar 4.6.	Grafik Hubungan Kekasaran pipa Terhadap Re Air Murni Dengan penambahan Polimer PEG 4000 600 PPM.	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Properti Fisika Air Murni	44
Lampiran 2.	Hasil Perhitungan Air Murni	45
Lampiran 3.	Hasil Perhitungan Campuran Polimer 200 ppm	46
Lampiran 4.	Hasil Perhitungan Campuran Polimer 400 ppm	47
Lampiran 4.	Hasil Perhitungan Campuran Polimer 600 ppm	48



BAB 1 PENDAHULUAN

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 berberat 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 direncanakan pada sistem tersebut, sebelum dipertimbangkannya penggunaan aditif polimer untuk menimbulkan efek DR di dalam 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 digunakan dalam sirkulasi aliran tertutup.

1.2 Perumusan Masalah

Aliran fluida di dalam pipa selalu mengalami hambatan gesek, hal ini dapat diketahui dengan adanya penurunan tekanan antara dua titik dengan jarak tertentu pada pipa tersebut. Hambatan gesek ini dipengaruhi oleh faktor internal yaitu viskositas (kekentalan) dan jenis fluida, sedangkan faktor eksternalnya adalah kekasaran permukaan pipa.

Fluida yang mengalir melalui benda diam akan mendapatkan gaya. Gaya ini disebutkan oleh tekanan dari fluida terhadap permukaan benda tersebut dan gaya gesekan fluida terhadap permukaan benda tersebut. Aliran fluida yang mengalir melalui permukaan halus dan kasar akan mengalami perubahan tekanan pada alirannya. Pada dinding silinder akan terdapat distribusi tekanan yang mempengaruhi lapisan batas yang terbentuk pada permukaan silinder. Penelitian ini akan menganalisa pengaruh additive terhadap permukaan pipa stainless steel jika dialiri fluida terhadap penambahan viskositas.

1.3 Tujuan Studi

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk memberikan informasi tentang data eksperimen koefisien gesek untuk aliran larutan *polyethylene glycol* (PEG 4000).
2. Data-data ini secara umum dapat digunakan untuk memprediksi koefisien gesek pada pipa stainless steel 304 komersial baru.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah hanya terbatas pada karakteristik drag reduction (DR) pada pipa stainless steel 304 baru dengan diameter dalam 3 mm, dan campuran *polyethylene glycol* (PEG 4000) 200 ppm, 400 ppm dan 600 ppm.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan pengujian yang dilakukan meliputi pengujian langsung dan pengujian tidak langsung. Pengujian langsung adalah pengujian dimana variable yang diukur dapat langsung

diketahui nilainya dari pengujian tersebut, pengujian ini meliputi perbedaan tekanan pada manometer, debit aliran, berat jenis fluida. Sedangkan pengujian tidak langsung adalah pengujian dimana variable yang diperoleh dari pengujian harus diolah dulu dengan rumus-rumus yang telah ada baru kemudian diperoleh suatu hasil. Penelitian tidak langsung ini meliputi : Kapasitas aliran, kecepatan, bilangan Reynolds, koefisien gesek, power law index dan apparent buku yang membahas tentang penelitian ini ataupun dari jurnal-jurnal yang telah dipublikasikan yang berkaitan dengan penelitian ini.

1.6 Metode Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini penulis melakukan beberapa metode yaitu :

1 Konsultasi dengan dosen pembimbing

Tujuan dari konsultasi dengan dosen pembimbing adalah 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 di 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 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 tim skripsi dan dosen pembimbing.

4 Pengolahan Data

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

5 Analisa Data

Data-data dari hasil pengolahan digunakan untuk menganalisis hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan serta hubungan antara friction factor dan bilangan Reynolds, dari hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan maka dapat diketahui karakteristik dari fluida non-Newtonian tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini meliputi beberapa bab yaitu :

Bab I :

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

Bab II

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

Bab III

Pada bab ini dijelaskan mengenai rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

Bab IV

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

Bab V

Bab ini merupakan penutup, pada bab ini akan 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

Di dalam ilmu Mekanika Fluida, klasifikasi mengenai fluida dapat dibedakan menjadi beberapa bagian. Tetapi secara luas diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu Fluida Newtonian dan Fluida Non-Newtonian. Penjelasananya adalah sebagai berikut :

2.1.1 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. Dengan kata lain, fluida Newtonian adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

$$\tau = \mu \frac{\partial V}{\partial y} \quad (2.1)$$

Dimana :

τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viscositas fluida

$\frac{\partial V}{\partial y}$ = 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. 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

Berikut ini ada beberapa model pendekatan untuk Fluida Non-Newtonian:

a. Bingham plastic

Bingham plastic adalah suatu model pendekatan Fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya akan sangat tergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan.

Persamaan untuk model *bingham plastic* ini ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

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

b. Pseudoplastic

Pseudoplastic adalah suatu model pendekatan Fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya cenderung menurun tetapi *shear stress* dari fluida ini akan semakin meningkat. Contoh fluida ini adalah vinil acetate/vinylpyrrolidone co-polymer (PVP/PA).

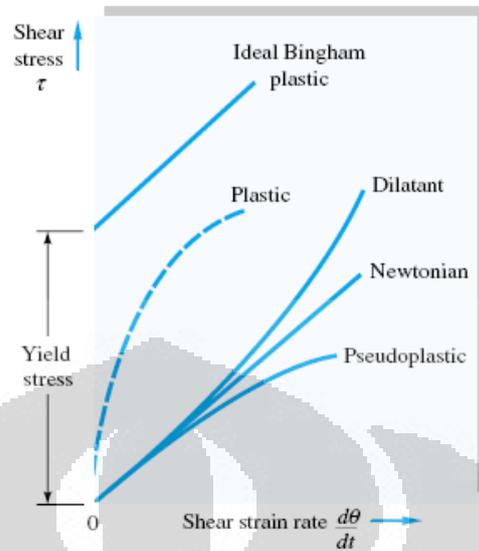
Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini:

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

c. Dilatan

Dilatan adalah suatu model pendekatan Fluida Non-Newtonian dimana viskositas dan *shear stress* dari fluida ini akan cenderung mengalami peningkatan. Contoh dari fluida jenis ini adalah pasta. Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut:

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



Gambar 2.1 Grafik fluida non newtonian

(Munson,1994)

Penggolongan lainnya untuk Fluida Non-Newtonian adalah:

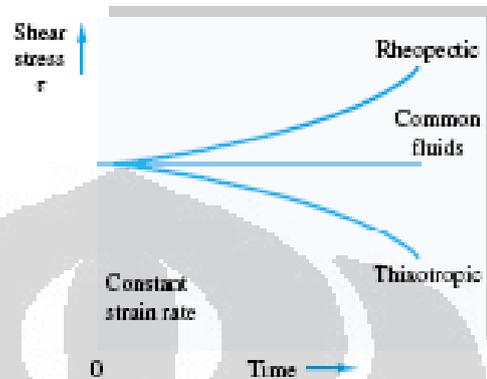
a. *Thixotropic (Shear thinning)*

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

b. *Rheopectic (shear thickening)*

Rheopectic adalah fluida yang viskositasnya seolah-olah makin lama makin besar. Sebagai contoh adalah minyak pelumas dimana viskositasnya akan bertambah besar saat minyak pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida *rheopectic* jika ada suatu gaya yang bekerja padanya maka viskositas fluida ini akan bertambah. Kurva di bawah ini akan menunjukkan hubungan tegangan geser (*shear stress*) dengan gradient kecepatan (*shear rate*) pada fluida *thixotropic* dan *rheotropic*.

Apabila dilihat dari hubungan antara fungsi viskositas dan *shear rate* pada fluida *thixotropic* dan *rheotropic*, maka dapat digambarkan pada diagram di bawah ini:



Gambar 2.2 Grafik Fluida *Rheopectic* dan *Thixotropic*

(Munson, 1994)

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

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

Dimana:

τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viscositas fluida

$\frac{\partial v}{\partial y} = \gamma$ = Gradient kecepatan fluida

K = Indeks konsistensi

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

Dengan nilai yang didapat dari :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \quad \& \quad \gamma = \frac{8V}{D} \quad (2.6)$$

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:

$$h_t = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + z_1 - z_2 \quad (2.7)$$

Dimana p_1 , p_2 , v_1 , v_2 , z_1 dan z_2 adalah pressure, kecepatan rata – rata dan ketinggian di titik ke – 1 dan ke – 2 secara berturut–turut. ρ adalah density dari fluida dan g adalah percepatan gravitasi.

2.1.3 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:

$$n = \frac{d \ln \frac{D \Delta P}{4L}}{d \ln \frac{8V}{D}} \quad (2.8)$$

Atau

$$n = \frac{\log \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\log \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} \quad (2.9)$$

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:

$$Re^* = \frac{\rho_m D_h^n U^{2-n}}{\mu} \quad (2.10)$$

Dengan nilai dari μ adalah $K 8^{n-1}$

Untuk nilai dari *Friction losses* (f) kita dapat mengetahuinya nilai tegangan geser, kecepatan aliran dan *density* fluida kerja sudah diketahui, dengan menggunakan persamaan fanning, persamaannya sebagai berikut:

$$f = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho_m V^2} \quad (2.11)$$

2.2 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 $(\varepsilon/D)\varepsilon[4]$. Jadi:

$$f = f(Re, \varepsilon/D) \quad (2.12)$$

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

$$hf = \frac{f \cdot L}{D(V^2/2g)} \quad (2.13)$$

Dari persamaan di atas (2.12) yang disebut dengan formula Darcy-Weisbach didapat beberapa bentuk fungsi dari (f) atau (λ).

Persamaan fanning umumnya digunakan untuk menghitung faktor gesekan dimana zat kimia penyusunnya lebih diperhatikan (untuk fluida lebih dari satu *phase*). Nilai faktor gesekan fanning dapat dikonversi ke darcy dengan persamaan:

$$[F_{\text{darcy}} = 4 \times f_{\text{fanning}}] \quad (2.14)$$

Pola aliran pada pipa horizontal, ada efek gravitasi dimana fluida yang lebih berat akan berada di bagian bawah, bentuk lain dari pola ini dapat berubah karena efek ini dimana aliran akan terbagi menjadi dua lapisan.

2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA

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

2.3.1 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:

1. Densitas massa

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

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.15)$$

dimana m adalah massa dan v adalah volume, unit density adalah kg/m^3 dan dimensi dari densitas ini adalah ML^{-3} . Harga standarnya pada tekanan $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dan temperature $T = 288.15 \text{ K}$ untuk air adalah 1000 kg/m^3 .

2. Berat spesifik

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

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.16)$$

Satuan dari berat spesifik ini adalah N/m^3 , dan dimensi dari berat spesifik ini adalah $\text{ML}^{-3}\text{T}^{-2}$ dimana nilai ___ air adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

3. 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 4°C . Densitas relative ini tidak memiliki satuan.

2.3.2 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.

Pada dasarnya viskositas ini disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler di antara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal antara lain temperature, konsentrasi larutan, bentuk partikel dan sebagainya.

Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, yakni:

1. Viskositas dinamik

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya nilai viskositas dinamik bergantung dari faktor-faktor di atas tersebut, untuk viskositas dinamik air pada temperature standar lingkungan (27°C) adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$

2. Viskositas kinematik

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

Pada fluida Non-Newtonian viskositasnya ditentukan berupa *Apparent Viscosity* (kekentalan sesaat) karena umumnya fluida Non-Newtonian memiliki

suatu sifat histerisis. Hal ini menyebabkan untuk mencari viskositas aslinya sangatlah sulit.

2.3.3 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 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 (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:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \quad (2.17)$$

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/m.s]

Karakteristik kedua aliran tersebut berbeda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya.

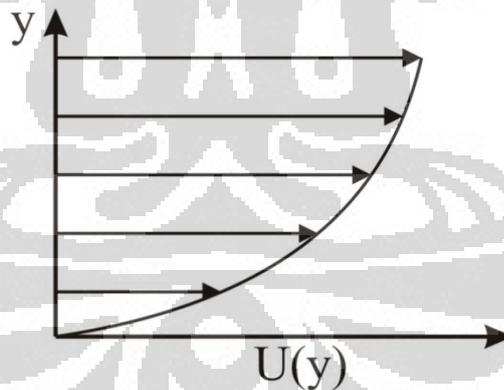
Aliran laminar adalah aliran dimana tidak terjadinya pencampuran antara satu layer dengan layer yang lain pada suatu fluida saat fluida tersebut dialirkan, oleh karena itu kecepatan aliran ini lambat sehingga kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran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

Bilangan Reynolds pada fluida Non-Newtonian adalah Regeneratif Reynolds (Re^*), hal ini disebabkan karena nilai viskositas dari fluida ini merupakan *apparent viscosity* atau kekentalan sesaatnya.

2.3.4 Tegangan Geser pada Fluida

Fluida akan mengalami pergerakan relatif antara partikel satu dengan partikel yang lain akibat adanya gaya geser. Gerakan relative tersebut akan menyebabkan timbulnya kecepatan yang berbeda – beda pada partikel – partikelnya, yang akan menyebabkan bentuk asli dari fluida tersebut berubah. Sedangkan gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, dan gaya ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata – rata pada permukaan tersebut.

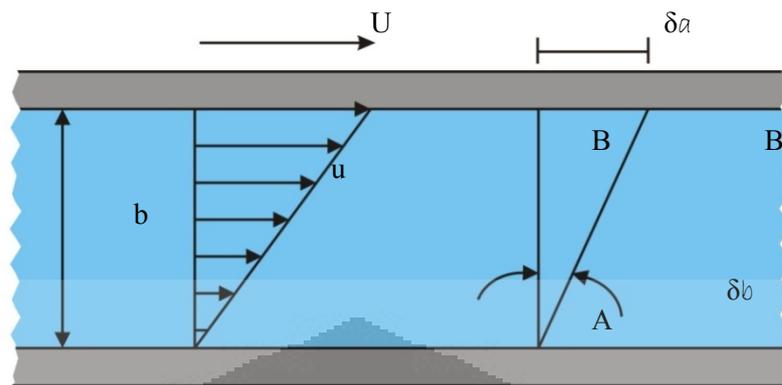
Hal – hal umum yang sering dapat kira lihat seperti pada aliran fluida dalam saluran tertutup (solid boundary), dimana fluida yang berhubungan dengan dinding saluran akan melekat pada dinding tersebut, oleh karena itu fluida akan mempunyai kecepatan sama dengan dindingnya. Pada gambar dibawah kecepatan dari setiap partikel fluida akan bervariasi dari satu lapisan ke lapisan yang lain sesuai dengan naiknya harga y .



Gambar 2.3 Profil kecepatan

(Munson,1994)

Pada gambar suatu zat ditempatkan di antara dua buah plat sejajar dengan jarak antara yang kecil dan yang sedemikian luasnya sehingga keadaan pada tepi – tepi plat dapat diabaikan. Plat bawah terpasang tetap, dan suatu gaya P dikenakan pada plat atas, yang mengerahkan tegangan geser P/A pada zat apapun yang terdapat di antara plat – plat itu. A ialah luas plat atas.



Gambar 2.4 Perubahan bentuk akibat gaya geser

(Munson, 1994)

Lapisan fluida yang berdekatan dengan plat yang diam akan diam, sedangkan lapisan yang berdekatan dengan plat yang bergerak akan mempunyai kecepatan yang sama dengan plat tersebut, sehingga kecepatan akan berubah dari nol pada plat yang diam sampai kecepatan tertentu pada plat atas yang bergerak.

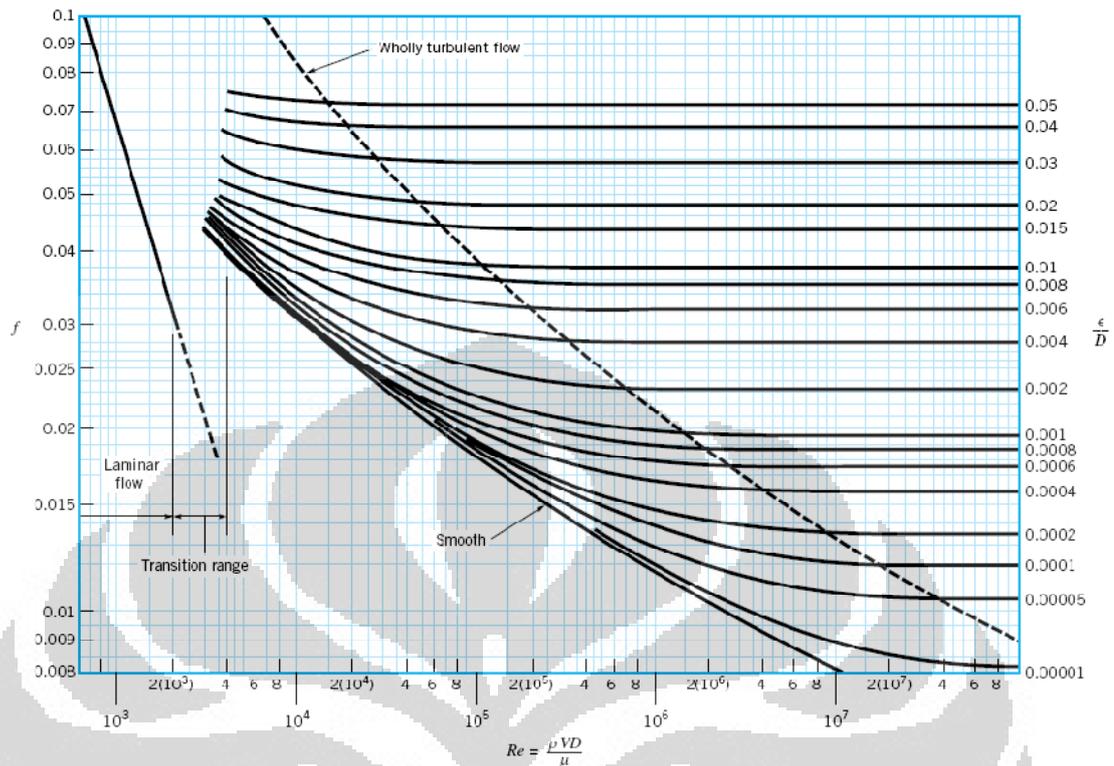
2.3.5 Koefisien Gesek

Kerugian tekanan (h_L), 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:

$$h_L = f \frac{l V^2}{d 2g} \quad (2.18)$$

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)

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

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.19)$$

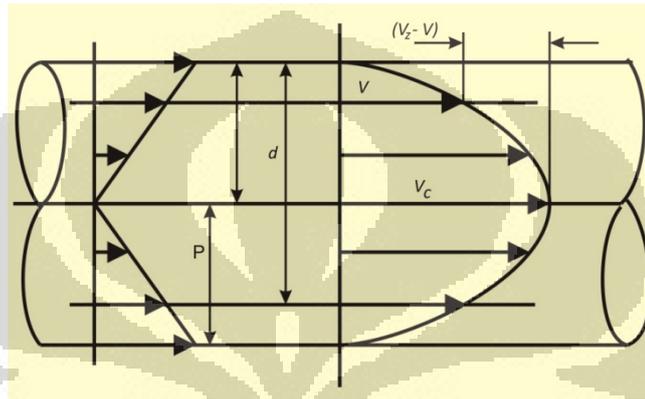
Pada $Re > 4000$ aliran menjadi turbulen dan nilai f merupakan fungsi dari Re dan kekasaran relative (ϵ/D). Blasius, yang untuk pertamakali mengkorelasikan eksperimen – eksperimen pipa licin dalam aliran turbulen, menyajikan hasil – hasil dengan suatu rumus empiric yang berlaku sampai kurang lebih $Re = 100000$. Rumus Blasius tersebut adalah :

$$f = \frac{0.3164}{Re^{1/4}} \quad (2.20)$$

Pada nilai Re yang sangat tinggi, f hanya bergantung pada ϵ/D dengan asumsi daerah tersebut sudah seluruhnya turbulen, daerah ini merupakan daerah dimana pada diagram moddy garis untuk ϵ/D yang berbeda menjadi horizontal.

2.3.6 Distribusi kecepatan

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



Gambar 2.2 Gambar grafik Fluida *Rheopctic* dan *Thixotropic*

(Munson, 1994)

Untuk aliran laminar maka kecepatan berlaku:

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

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

Dimana:

- V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]
- v_c = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]
- v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]
- r = kecepatan aliran v dari titik pusat diameter dalam pipa [m]
- y = jarak kecepatan aliran v dari permukaan dalam pipa [m]
- R = jari-jari pipa [m]

Untuk aliran turbulen, maka berlaku persamaan:

$$\frac{V}{vc} = \frac{49}{60} \quad (2.23)$$

$$\frac{v}{vc} = \left(\frac{y}{R}\right)^m \quad (2.24)$$

Dimana:

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

vc = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]

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

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

R = jari-jari pipa [m]

$m = 1/7$ untuk Re lebih kecil dari 10^5

2.5 Polyethylene glycol 4000 (PEG 4000)

Polimer merupakan aditif yang sangat menarik, karena hanya dengan beberapa ppm (part per million – bagian per sejuta) polimer berberat molekul tinggi, aditif ini bisa menimbulkan DR yang sangat besar.

Sifat- sifat yang berhubungan dengan korosi merupakan suatu hal yang berkaitan dengan kesesuaian material dengan komponen mekanik, seperti pompa, dan pipa. *Polyethylene glycol (PEG)4000* bersifat untuk mencegah korosi pada permukaan logam, oleh karena itu polimer *Polyethylene glycol (PEG)4000* dipilih sebagai zat pelarut yang digunakan sebagai zat additive untuk menurunkan koefisien gesek pada penelitian ini. Adapun pertimbangan keamanan mencakup sifat beracun atau tidaknya dari polimer tersebut.

Polyethylene glycol (PEG)4000 secara umum memiliki sifat yang tidak beracun dan tidak menimbulkan iritasi pada kulit ⁽³⁾. *Polyethylene glycol (PEG)4000* banyak sekali digunakan dalam industry, seperti industry farmasi, karet, tekstil, kosmetik, logam karena *Polyethylene glycol (PEG)4000* ini aman untuk dipergunakan. Akan tetapi, secara umum reaksi negatif dari polyethylene glycol dinyatakan aman, tetapi untuk *polyethylene glycol* dengan kandungan molecular weight dibawah 200 ⁽³⁾, maka semakin tinggi pula zat beracun yang

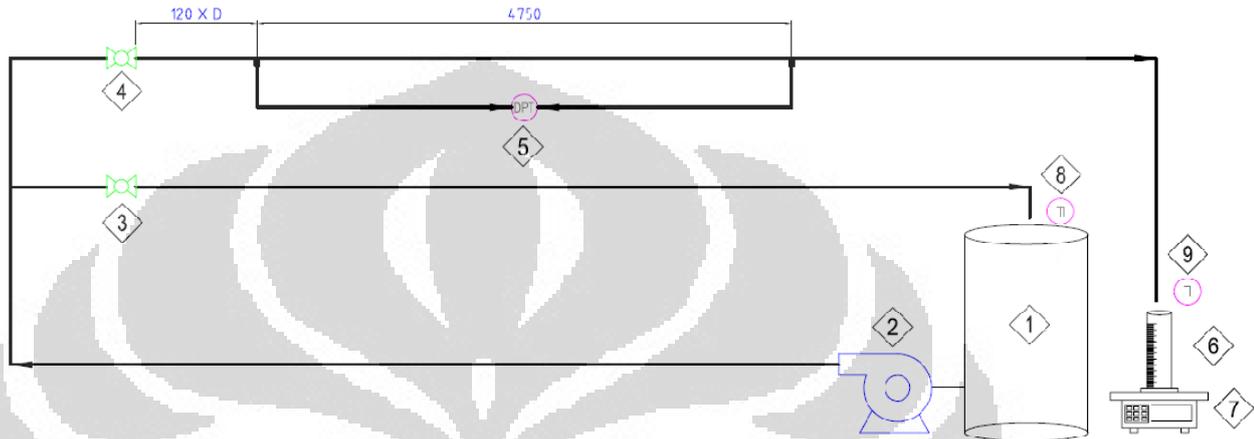
terkandung didalam polyethylene glycol tersebut. Adapun rincian sifat-sifat fisik dari polyethylene glycol (PEG) 4000 adalah tertera pada tabel dibawah :

Specifications from PhEur 2001.					
Type of PEG	Density (g/cm ³)	Freezing point (°C)	Hydroxyl value	Viscosity (dynamic) in mPa s (cP)	Viscosity (kinematic) in mm ² /s (cSt)
300	1.120	—	340-394	80-105	71-94
400	1.120	—	264-300	105-130	94-116
600	1.080	15-25	178-197	15-20	13.9-18.5
1000	1.080	35-40	107-118	22-30	20.4-27.7
1500	1.080	42-48	70-80	34-50	31-46
3000	1.080	50-56	34-42	75-100	69-93
3350	1.080	53-57	30-38	83-120	76-110
4000	1.080	53-59	25-32	110-170	102-158
6000	1.080	55-61	16-22	200-270	185-250
8000	1.080	55-62	12-16	260-510	240-472
20000	1.080	≥ 57	—	2700-3500	2500-3200
35000	1.080	≥ 57	—	11000-14000	10000-13000

BAB III

DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Skematik Alat Uji



Gambar 3.1 Skematik Alat Uji

Komponen- komponen yang digunakan pada skematik alat uji yaitu:

1. Tangki Penampung
2. Pompa Air
3. Bypass Ball Valve
4. Inlet Ball Valve
5. *Differential Pressure Transmitter*
6. Gelas Ukur
7. Timbangan
8. *Temperature Indicator (Inlet)*
9. *Temperature Indicator (Outlet)*

Untuk mengetahui karakteristik drag reduction yang terjadi pada aliran laminar dan turbulen dengan penambahan polimer PEG 4000 pada pipa stainless steel, maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan perangkat alat uji untuk memperoleh data- data yang diperlukan. Selanjutnya data- data tersebut diolah sehingga dapat diketahui karakteristik drag reduction pada masing- masing kondisi pengujian. Adapun perangkat alat uji dibuat dengan menggunakan sistem terbuka.

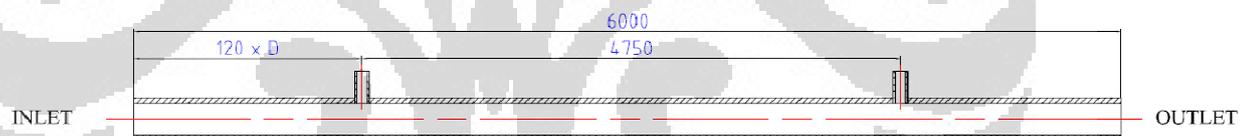
3.2 Kondisi Pengujian

Berdasarkan tujuan pengujian, perangkat alat uji ini digunakan untuk melakukan pengujian *drag reduction* dengan menggunakan fluida berupa campuran air murni dengan ditambahkan polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan konsentrasi 200ppm, 400 ppm dan 600 ppm. Dari pengujian yang dilakukan ini akan diperoleh data-data yang kemudian diolah sehingga dapat menunjukkan karakteristik *drag reduction* pada pipa stainless steel. Untuk mendapatkan data- data tersebut maka pengujian harus dilakukan sesuai dengan kondisi yang ditetapkan.

Adapun kondisi pengujian yang dilakukan yaitu:

3.2.1 Test section

Test section merupakan pipa stainless steel 316 sepanjang 6 meter dengan diameter dalam sebesar 3 mm. dan diameter luar sebesar 5 mm. Selanjutnya test section ini diberikan pressure tap pada jarak $120 \times D$ dalam pipa pada bagian High Pressure (HP), dan jarak 4750 mm pada bagian Low Pressure (LP) seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Test Section*

3.2.2 Polimer

Polimer yang digunakan adalah *polyethylene glycol* (PEG) 4000 yang mana ketika masuk melalui inlet telah dicampur dengan fluida air murni dengan konsentrasi 200 ppm, 400 ppm, dan 600 ppm.

3.2.3 Kondisi Temperature Pengujian

Kondisi temperature fluida air murni dan polimer *polyethylene glycol* (PEG) 4000 yang masuk melalui inlet dikondisikan konstan pada temperatur $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$).

3.3 Prinsip kerja alat uji

Pada awalnya, campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dan fluida air murni dari tangki dipompakan dengan menggunakan pompa air. Laju aliran campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG) 4000 dan fluida air murni dari tangki diatur dengan menggunakan *bypass valve* dan *test section valve*. Kedua buah valve tersebut dibuka penuh dengan tujuan agar tidak ada gelembung udara / udara yang terjebak didalam pipa *test section*. Pada *venting differential pressure transmitter* yang digunakan untuk membuang udara yang terjebak dalam saluran pipa *test section* dibuka penuh agar udara yang terjebak didalam unit tersebut hilang. Setelah gelembung udara pada *test section* hilang, *bypass valve* ditutup kemudian *test section valve* dibuka mulai dari derajat pembukaan yang paling kecil. Fluida campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dan fluida air murni tersebut dialirkan melalui *test section*, kemudian tunggu hingga aliran didalam *test section* stabil, apabila aliran pada *test section* telah stabil, baca hasil perbedaan tekanan pada *differential pressure transmitter*, untuk mengukur debit aliran yang mengalir pada *test section* timbang berat fluida yang dialirkan dengan menggunakan timbangan dan lama waktu pelaksanaan pengukuran debit. Temperatur pada pengujian ini dikondisikan stabil pada suhu 27 °C ($\pm 0,5$ °C), agar memperoleh data-data yang memudahkan dalam analisa data.

3.4 Instalasi Alat Uji

Menentukan spesifikasi komponen-komponen alat uji

Dalam membuat suatu perangkat pengujian, komponen- komponen yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi pengujian yang akan dilakukan. Oleh karena itu, digunakan peralatan dengan *rangeability* dan *sensivity* yang tinggi, agar spesifikasi komponen yang digunakan dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan pada saat pengujian. Adapun peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.4.1 Pompa Air

Pada prinsipnya pompa air ini digunakan untuk mensirkulasikan campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 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 :

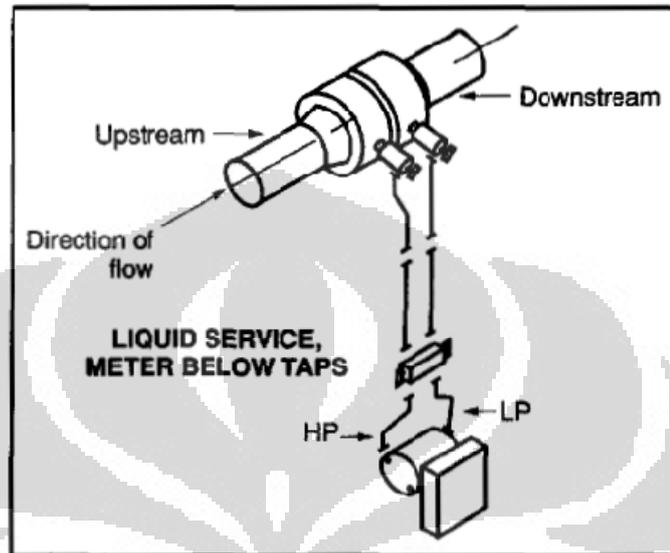
Spesifikasi	
Kapasitas maksimum	42 liter/menit
Head hisap (<i>Suction Head</i>)	9 meter
Head keluaran (<i>Discharge Head</i>)	24 meter
Total head	33 meter
Input – Output	1 Inchi x 1 Inchi
Daya	125 Watt



Gambar 3.1 Pompa air.

3.4.2 Differential pressure transmitter

Untuk pemasangan *differential pressure transmitter* untuk fluida dalam fase cair sesuai dengan standart API RP 551 seperti ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 Instalasi *differential pressure transmitter*.

(API RP 551, 1993)

Adapun spesifikasi dari *differential pressure transmitter* adalah sebagai berikut :

Spesifikasi	
Brand	Rosemount
Model	3051A
Accuracy	0,075 of Range
Output Signal	4-20 mA HART
Ambient Temperature	-40 °F to +185°F
Stability	0,1 % of 6 month
Measurement Range	0 – 7000 mmH ₂ O
Proces Temperature Maximum	-40 °F to +248°F



Gambar 3.3 *Differential pressure transmitter.*

3.4.3 *Temperature Indicator*

Temperature indicator berfungsi untuk mengukur temperatur fluida campuran polimer dan air murni sebelum masuk *test section*, dimana spesifikasi dari *temperature indicator* adalah sebagai berikut:

Spesifikasi	
Brand	Wika
Model	TI.32
Accuracy	1% of Full Scale
Stability	0,1 % of 6 month
Measurement elements	Bi-metal helix
Measurement range	0 °C to +50°C



Gambar 3.4 *Temperature indicator.*

3.4.4 Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur berat fluida campuran polimer dan air murni setelah masuk *test section*, spesifikasi dari timbangan adalah sebagai berikut:

Spesifikasi	
Brand	AND SK 5001
Range	0 – 5 Kg



Gambar 3.6 Timbangan.

3.4.5 Pipa pengujian

Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan pipa *stainless steel* ASTM 269 dengan diameter luar (OD) 5 mm dan diameter dalam (ID) 3 mm, dengan kekasaran rata-rata diameter dalam pipa (k) adalah $1 \mu\text{m}$, yang diukur dengan *surface roughness tester*. Campuran fluida air murni dan *polimer PEG 4000* yang mengalir di dalam pipa dialirkan dengan pompa, dan diukur laju aliran dan kerugian tekanannya. Dengan mengatur pembukaan valve, variasi Re didapatkan bersamaan dengan pengukuran laju aliran.



Gambar 3.7 Pipa stainless steel.

3.5 Mengukur kekasaran pipa stainless steel

Untuk mengetahui nilai kekasaran bagian dalam pipa diambil nilai roughness avarange (Ra), maka ampelas dapat di ukur kekasarannya dengan alau ukur surfcom 120A dapat kita lihat gambar 3.4. Tabel 3.1 merupakan spesifikasi alat ukur kekasaran dalam mengukur kekasaran atau roughness avarange (Ra) bagian dalam pipa.

Alat Ukur Kekasaran	
Alat ukur	: Surface Roughness Charts
Merk	: Mitutoyo
type	: Surfcom 120A
Roughness avarange (Ra)	: μm



Gambar 3.8 alat ukur kekasaran (surfcom 120A)



Gambar 3.9 roughness specimen E-MC-824A

Sebelum melakukan pengukuran kekasaran pipa maka surfcom 120A perlu di kalibrasi. Gambar 3.5 adalah roughness specimen E-MC-824 untuk mengkalibrasi pembacaan pengukuran kekasaran dengan surfcom 120A.



Gambar 3.10 pengukuran pipa dengan surfcom 120A



Gambar 3.11 parameter dan hasil pengukuran roughness avarange (Ra) dengan surfcom 120A

3.5.1 Prosedur kalibrasi pembacaan surfcom 120A

Letakkan roughness specimen E-MC-824A pada dudukan yang datar.

Atur ketinggian stylus supaya parameter datum yang terdapat pada amplifier indicator berada pada tengah stylus yang artinya tidak terlalu menekan objek dan juga tidak menjaui objek uji. Parameter surfcom 120A dapat kita lihat pada gambar 3.11. Tekan tombol measure untuk mengetahui nilai kekasaran roughness specimen E-MC-824A. Bandingkan nilai kekasaran roughness specimen E-MC-824A dengan nilai pada hasil pembacaan pengukuran surfcom 120A, nilai kekasaran dapat kita lihat pada gambar 3.11. Jika nilai kekasaran atau roughness avarange (Ra) tidak sama, itu berarti nilai kekasaran atau roughness avarange (Ra)

pada surfcom 120A akan di kurangi dengan nilai kekasaran roughness specimen E-MC-824A yang hasilnya akan digunakan untuk pengurangan atau penambahan nilai kekasaran atau roughness avarange (Ra) pada pipa.

3.5.2 Prosedur pengukuran kekasaran atau roughness avarange (Ra) pipa *stainless steel* dengan surfcom 120A

Letakkan pipa dengan menggelem pada dudukan yang datar. Posisi pipa yang akan diukur kekasarannya dapat kita lihat pada gambar 3.10. Atur ketinggian stylus supaya parameter datum yang terdapat pada amplifier indicator berada pada tengah stylus yang artinya tidak terlalu menekan objek dan juga tidak menjauhi objek uji, parameter surfcom 120A dapat kita lihat pada gambar 3.10. Tekan tombol measure untuk mengetahui nilai kekasaran atau roughness avarange (Ra) pipa. Pada layar surfcom 120A menunjukkan nilai kekasaran pipa dalam μm (mikro meter), nilai kekasaran atau roughness avarange (Ra) pipa yang akan diukur kekasarannya dapat kita lihat pada gambar 3.10. Nilai kekasaran atau roughness avarange (Ra) pipa pada surfcom 120A akan dikurangi dengan hasil akan nilai pada waktu kalibrasi pembacaan pengukuran surfcom 120A yang hasilnya merupakan nilai dari kekasaran atau roughness avarange (Ra) pipa dalam μm (mikrometer).

Setelah melakukan pengukuran dengan panjang *sampel* 20mm dengan cut of length 2 mm, maka didapat data sebanyak 10 kali dengan nilai average roughness seperti pada table dibawah

Tabel 3.1 Kekasaran rata-rata pipa *stainless steel*

Urutan pengujian	Hasil Pengujian
1	1.0 μm
2	1.9 μm
3	0.8 μm
4	0.7 μm
5	0.6 μm
6	1.6 μm
7	0.8 μm
8	1.5 μm
9	1.0 μm
10	1.2 μm
Rata-rata	1.12 μm

3.5 Metode Penelitian

3.4.1. Unit Pengujian

Unit pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi :

1. Unit Pengujian Langsung

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

2. Unit Pengujian Tak Langsung

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

menjadi instalasi seperti pada Gambar 3.1, pada pemasangan seluruh rangkaian digunakan waterpass agar posisi rangkaian terutama pipa pengujian tidak miring. Selain itu untuk mengurangi getaran pompa pada pipa instalasi diikat dengan penjepit.

3.4.2. Persiapan Pengujian

Konsentrasi campuran polimer *PEG 4000* dan fluida air murni dinyatakan dalam part per million (ppm). Jumlah air yang digunakan dalam pengujian sebanyak 100 kg sehingga banyaknya polimer *PEG 4000* yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$ppm = \frac{\text{Jumlah PEG 4000 (Kg)}}{\frac{100 \text{ (Kg)}}{1000000}}$$

Sehingga jumlah ppm polimer *PEG 4000* yang dibutuhkan dalam pengujian tercantum pada table dibawah :

Tabel 3.2 Konsentrasi campuran *polyethylene glycol (PEG)4000*

PPM	PEG 4000	Fluida Air Murni
200	0,002 (Kg)	100 (Kg)
400	0,004 (Kg)	100 (Kg)
600	0,006 (Kg)	100 (Kg)

3.6 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Saat aliran sudah steady pada pembukaan penuh katup, dan pada *differential pressure transmitter* sudah tidak ada gelembung dan sudah stabil, maka kita bisa memulai pengambilan data.

Variasi kecepatan aliran diperoleh dengan cara mengatur pembukaan atau penutupan pada katup utama yang berada di ujung awal pipa, dimana variasi buka-tutup katup yang digunakan adalah penutupan dari 720⁰ (valve membuka penuh) sampai dengan 36⁰ (valve hampir menutup) dan dari 10⁰ membuka ke 720⁰. Variasi pembukaan valve adalah sebesar 5⁰, hal ini bertujuan untuk mendapatkan variasi data yang lebih banyak.

Konsentrasi penambahan *polyethylene glycol (PEG) 4000* ini dilakukan dalam tiga variasi konsentrasi, dimana untuk yang pertama adalah pencampuran

sebanyak 200 ppm dan yang kedua adalah sebanyak 400 ppm dan ketiga adalah sebanyak 600 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. Apabila ada perubahan temperature lebih dari 27,5 °C, maka pengujian dihentikan, dan menunggu fluida stabil kembali disuhu 27 °C. Apabila suhu telah tercapai maka pengujian dilanjutkan kembali.

TAHAP PENGUJIAN

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Pastikan fluida air murni dan polimer PEG 4000 sudah tercampur merata.
2. Hidupkan pompa, buka semua valve dan tunggu sampai aliran stabil.
3. Buka semua venting pada *differential pressure transmitter* agar tidak ada udara yang terjebak.
4. Valve *test section* berada pada posisi terbuka penuh (720°).
5. Tutup valve bypass.
6. Tutup valve *test section* sampai pada posisi 36° pembukaan.
7. Baca perbedaan tekanan pada layar *differential pressure transmitter*.
8. Cara pengukuran debit fluida yang keluar adalah dengan bantuan gelas ukur, timbangan dan stopwatch. Caranya adalah debit air yang tertampung di gelas ukur dihitung selama ±30 detik dan ditimbang beratnya.
9. Setelah data didapat, valve diputar membuka sebesar 36° dan menunggu kembali sampai aliran stabil.
10. Lalu kita ulangi kembali pengukuran di langkah ke 7, 8 dan 9 sampai valve membuka penuh di 720°.
11. Setelah semua data selesai diambil, alat-alat dibereskan dan pompa dimatikan.

BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Perhitungan Data

Untuk menunjukkan hubungan antara faktor gesekan, f , bilangan Reynolds, Re , dihitung dengan persamaan 2.20 untuk aliran turbulen, kemudian diplot terhadap Re fluida air murni. Hal ini dapat dilihat pada Grafik 4.1, penulis menggunakan salah satu data pengujian yang telah dilakukan untuk menghitung nilai faktor gesekan, f pada aliran turbulen, kemudian untuk data-data keseluruhan grafik terdapat pada lampiran. Adapun data yang digunakan sebagai parameter perhitungan adalah sebagai berikut :

Parameter yang diperoleh dari pengujian adalah :

- 1) Waktu aliran : 30 s
- 2) Viskositas : $8,5885 \times 10^{-4}$ Pa-s
- 3) Massa fluida : 0,276 kg
- 4) Jarak titik tap : 4750 mm
- 5) Pressure drop : 2080 mm
- 6) Temperatur fluida : 27°C
- 7) Density : $996,45 \text{ kg/m}^3$

Untuk fluida Newton pengolahan data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mendapatkan nilai *density* (ρ) pada temperature 27°C , maka nilai pada tabel lampiran 1 diinterpolasikan. Adapun nilai *density* (ρ) tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Density @ } 20^{\circ}\text{C} &= 998.2 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Density @ } 30^{\circ}\text{C} &= 995.7 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Density @ } 27^{\circ}\text{C} &= 998.2 + \frac{((998.2-995.7) \times (27-20))}{(30-20)} \\ &= 996.45 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

- b. Untuk mendapatkan nilai *viscosity* (μ) pada temperature 27°C , maka nilai pada table lampiran 1 diinterpolasikan. Adapun nilai *viscosity* (μ) tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Viscosity @ } 20^{\circ}\text{C} &= 1.002 \times 10^{-3} \text{ N-s/m}^2 \\ \text{Viscosity @ } 30^{\circ}\text{C} &= 7.975 \times 10^{-4} \text{ N-s/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosity @ } 27^{\circ}\text{C} &= 0.001002 + \frac{((0.0007975-0.001002)x(27-20))}{(30-20)} \\ &= 8,5885 \times 10^{-4} \text{ N-s/m}^2 \end{aligned}$$

- c. Untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida dapat diselesaikan sebagai berikut

$$V = \frac{m}{t \cdot \rho \cdot A}$$

$$V = \frac{0,276}{30 \times 996,45 \times ((3,14 \times (0,00385/2)^2)}$$

$$V = 0,930 \text{ m/s}$$

- d. Besarnya bilangan Reynolds untuk fluida Newton pada kecepatan V adalah :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{996,45 \times 0,00385 \times 0,930}{8,5885 \times 10^{-4}}$$

$$Re = 4317,81$$

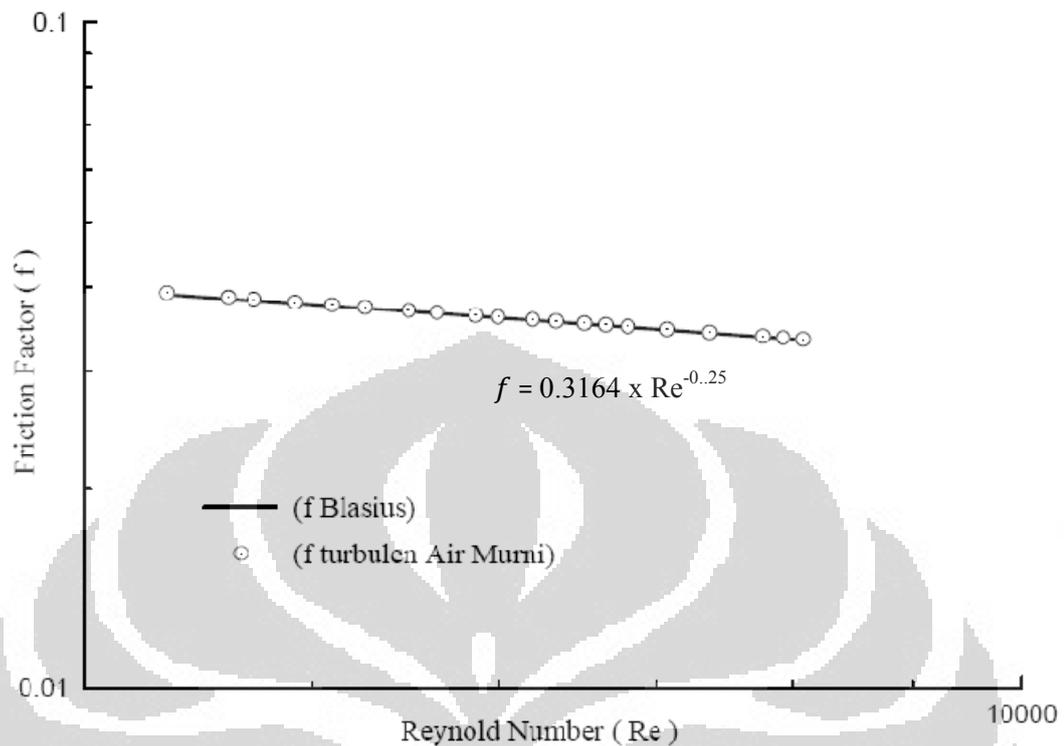
- e. Maka besarnya koefisien gesek pada pipa kasar diselesaikan berdasarkan persamaan Darcy adalah sebagai berikut :

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

$$f = \frac{2 \times 9,81 \times 0,00385 \times 2080}{4750 \times 0,930^2}$$

$$f = 0,03817$$

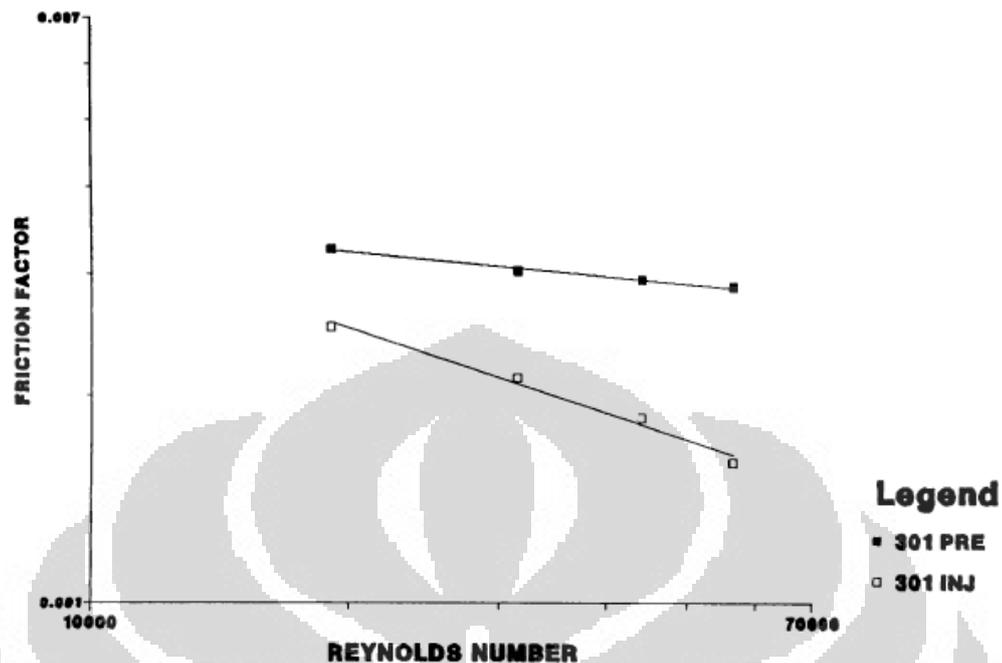
Pada persamaan 2.20 (Persamaan Blasius) ditegaskan bahwa persamaan tersebut berlaku untuk aliran turbulen pada pipa "halus". Setelah dilakukan pengukuran kekasaran pipa *stainless steel* ASTM A269 dengan nilai rata-rata kekasaran yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, maka pipa *stainless steel* yang digunakan dalam percobaan ini memiliki kekasaran relatif sangat rendah dan dapat dianggap "halus". Faktor gesekan untuk air dalam penelitian ini berada dalam kisaran yang sama seperti pada persamaan 2.20 (persamaan Blasius), dan ini menunjukkan bahwa pipa *stainless steel* ini pipa halus. Adapun data-data hasil percobaan terlampir dalam lampiran 2.



Grafik 4.1 Grafik hubungan kekasaran pipa terhadap Re untuk air murni dengan diameter 3 mm.

4.2 Pengaruh Metode Penambahan larutan Polimer *Polyethylene Glycol* (PEG) 4000

Dalam penelitian ini polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dicampurkan langsung dengan fluida air murni dengan perbandingan 200 ppm, 400 ppm dan 600 ppm. Fluida cairan tersebut ditempatkan pada tangki sebelum melewati pompa, yang kemudian dipompakan menuju bagian *test section*. Menurut Sylvester dan Kumar (2), akibat dari kerja pompa maka fluida campuran ini mengalami tegangan geser yang lebih besar, sehingga metode ini kurang efektif, hal ini dikarenakan kerja pompa memecah panjang rantai polimer sehingga terpotong menjadi lebih pendek, sehingga metode ini kurang efektif. Hal ini dapat terlihat seperti pada Grafik 4.2.



Grafik 4.2 Diagram Penambahan Polimer secara langsung dan diinjeksikan
(Sylvestor, N. D & S. M. Kumor, 1970)

4.2 Pengaruh Penambahan larutan Polimer PEG 4000

Untuk fluida air murni yang dicampur dengan polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan konsentrasi 200 ppm, pengolahan data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan nilai *density* (ρ) campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dan air murni pada temperature 27⁰C, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_p = \frac{t_p}{t_w} \times \rho_w$$

Dimana:

ρ_w = Density air murni (Kg/m³)

ρ_p = Density campuran polimer (Kg/m³)

t_w = Waktu untuk air murni (Detik)

t_p = Waktu untuk campuran polimer (Detik)

Nilai density standart air murni :

$$\rho_w = 996.45 \text{ Kg/m}^3 @ 27^0\text{C}$$

$$t_w = 57.77 \text{ detik}$$

$$t_p = 58.74 \text{ detik}$$

$$\rho_p = \frac{57.77}{58.74} \times 996.45$$

$$= 980 \text{ Kg/m}^3$$

- b. Untuk mendapatkan nilai *viscosity* (μ) campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dan air murni pada temperature 27°C , maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu_p = \frac{t_p}{t_w} \times \mu_w$$

Dimana:

$$\mu_w = \text{Viscosity air murni} \quad (\text{Pa}\cdot\text{s})$$

$$\mu_p = \text{Viscosity campuran polimer} \quad (\text{Pa}\cdot\text{s})$$

$$t_w = \text{Waktu untuk air murni} \quad (\text{Detik})$$

$$t_p = \text{Waktu untuk campuran polimer} \quad (\text{Detik})$$

Nilai density standart air murni :

$$\mu_w = 8.5885 \times 10^{-4} @ 27^{\circ}\text{C}$$

$$t_w = 250.63 \text{ detik}$$

$$t_p = 264.61 \text{ detik}$$

$$\mu_p = \frac{250,63}{264,61} \times 0.00085885$$

$$= 8,3147 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

- c. Untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida dapat diselesaikan sebagai berikut

$$V = \frac{m}{t \cdot \rho \cdot A}$$

$$V = \frac{0,276}{22.5 \times 980 \times ((3,14 \times (0,00385/2)^2)}$$

$$V = 1,098 \text{ m/s}$$

- d. Besarnya bilangan Reynolds untuk fluida Newton pada kecepatan V adalah :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{980 \times 0,00385 \times 1,098}{8,3147 \times 10^{-4}}$$

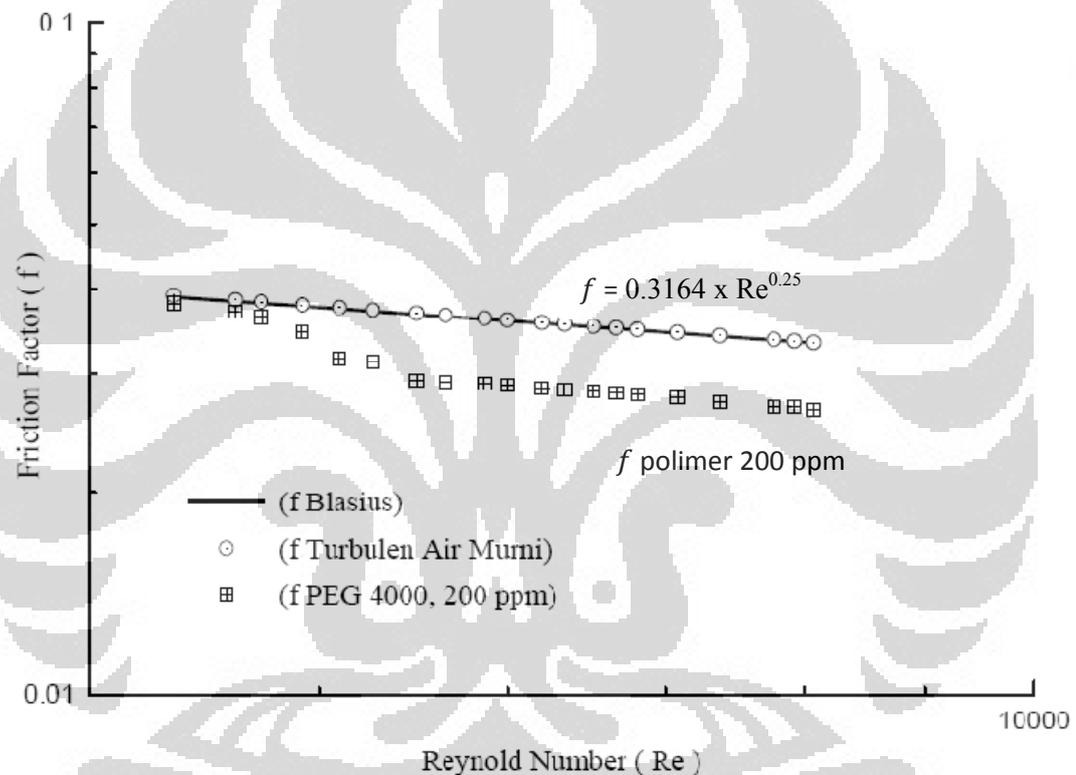
$$Re = 4327,064$$

- e. Maka besarnya koefisien gesek pada pipa kasar diselesaikan berdasarkan persamaan Darcy adalah sebagai berikut :

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

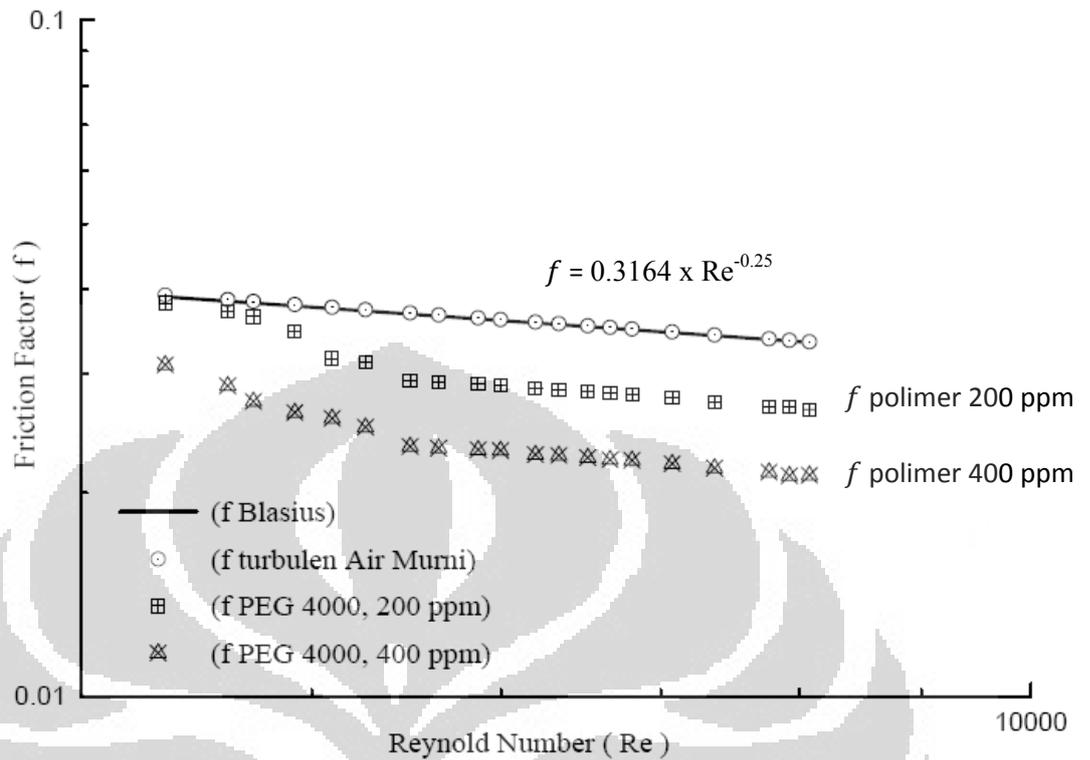
$$f = \frac{2 \times 9,81 \times 0,00385 \times 2329}{4750 \times 0,972^2}$$

$$f = 0,03922$$



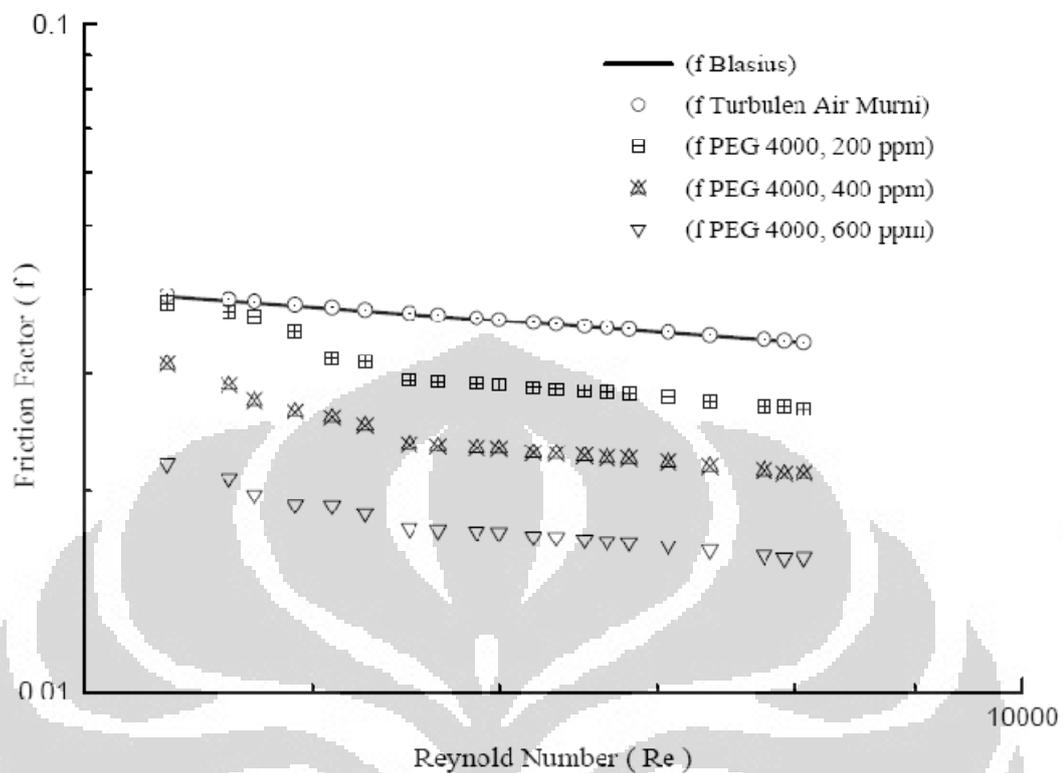
Grafik 4.3 Grafik hubungan kekasaran pipa terhadap Re untuk air murni dengan penambahan polimer PEG 4000 200 ppm pada pipa diameter 3 mm.

Gambar 4.3. menunjukkan efek penambahan polymer *polyethylene glycol* (PEG) 4000 pada pipa stainless steel dimana terlihat efek pemberian polymer *polyethylene glycol* (PEG)4000 pada pipa *stainless steel* ini sangat kecil pada awal aliran turbulen, dan terus meningkat pada nilai Reynold number yang lebih tinggi. Terjadi sedikit penurunan koefisien gesek sekitar 2% pada nilai Re 4×10^3 dan terus naik sampai terjadi penurunan koefisien gesek yang cukup signifikan sekitar 20% pada nilai Re 8×10^3 .



Grafik 4.4 Grafik hubungan kekasaran pipa terhadap Re untuk air murni dengan penambahan polimer *polyethylene glycol* (PEG) 4000, 400 ppm pada pipa diameter 3 mm.

Pada Tabel 4.4. Penurunan f maksimum konsentrasi polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan air dicapai pada konsentrasi 400 ppm sebesar 45 % pada nilai Re $4,7 \times 10^3$ dan penurunan f minimum konsentrasi polimer polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan air pada konsentrasi 400 ppm sebesar 38 % pada nilai Re 4×10^3 dan nilai penurunan koefisien gesek ini menjadi stabil pada nilai $Re = 5,5 \times 10^3$ sampai dengan nilai Re maksimal pada pengujian ini yaitu pada nilai $Re = 8 \times 10^3$. Nilai penurunan ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan viskos fluida dengan permukaan pipa pada bilangan $Re = 4,7 \times 10^3$. Campuran polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan air menyebabkan perubahan sifat fluida dari Newton menjadi Non-Newton.

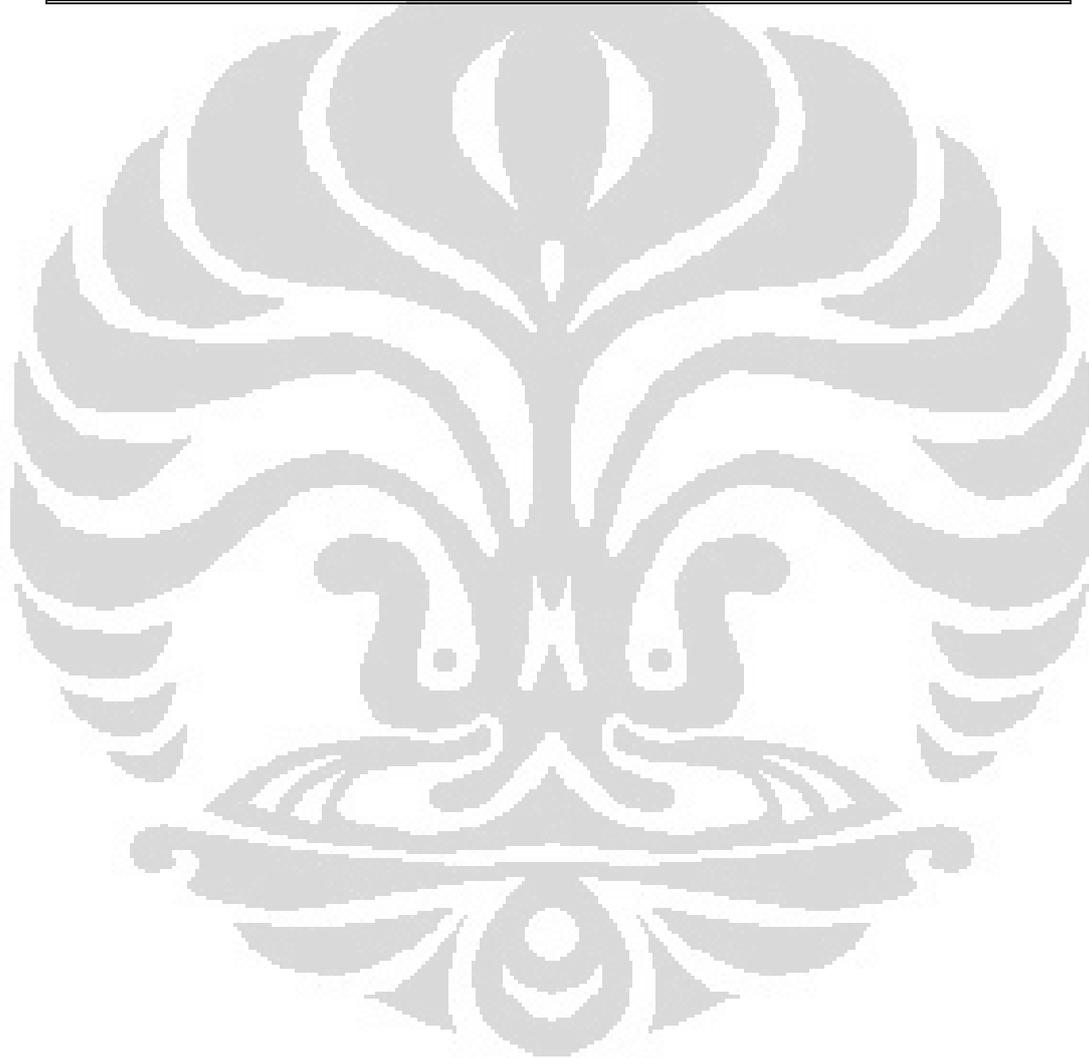


Grafik 4.4 Grafik hubungan kekasaran pipa terhadap Re untuk air murni dengan penambahan polimer PEG 4000 600 ppm pada pipa diameter 3 mm.

Gambar 4.5 menunjukkan konsentrasi polimer pada pipa diameter 3 mm, terlihat adanya penurunan koefisien gesek yang lebih tinggi nilainya bila dibandingkan dengan jumlah ppm yang lebih kecil, disini dapat kita simpulkan bahwa dengan penambahan jumlah ppm maka efek PEG 4000 terlihat lebih baik. Nilai koefisien gesek menurun dengan kenaikan konsentrasi polymer PEG 4000. Pada Lampiran 3, terlihat efek Penurunan f maksimum konsentrasi polimer polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan air dicapai pada konsentrasi 600 ppm sebesar 65,27 % dan penurunan f minimum konsentrasi polimer polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 dengan air pada konsentrasi 200 ppm sebesar 2,21 % . Pada tabel 4.1 terlihat penurunan koefisien gesek yang signifikan dari polimer *polyethylene glycol* (PEG)4000 pada nilai $Re = 8 \times 10^3$.

Tabel 4.1 Penurunan koefisien gesek terhadap variasi ppm *polyethylene glycol* (PEG)4000.

Notasi	PPM	f	Δf	% DR
1	0	0,03344	0	0
2	200	0,02654	0,2017	20,17
3	400	0,02123	0,4018	40,18 %
4	600	0,01590	0.6527	65,27 %



BAB V

Kesimpulan.

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang diuraikan pada tulisan ini, berdasarkan data-data hasil percobaan dan perhitungan yang dilakukan, maka ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari topik ini, yaitu:

1. Drag reduction diperoleh dengan menggunakan *polyethylene glycol* (PEG 4000) sebesar 65,27%. Ini sesuai dengan penurunan 65,27% tekanan sepanjang aliran pipa.
2. Dengan penambahan jumlah ppm polimer pada fluida air murni, maka koefisien gesek pada pipa akan semakin berkurang.
3. Keefektifan penambahan polimer juga tergantung dari cara pencampuran polimer dengan fluida air murni.

1.2 Saran

1. Untuk penelitian berikutnya mungkin dapat dicoba dengan metode pencampuran polimer dengan diinjeksikan, karena menurut referensi-referensi yang ada, nilai koefisien gesek yang dihasilkan dapat lebih baik disbanding dengan menggunakan metode dicampur langsung pada tangki.
2. Pada penelitian berikutnya dapat dicoba dengan menggunakan pipa dengan ukuran diameter dalam yang lebih besar, sehingga dapat diketahui penurunan koefisien gesek pada nilai-nilai reynold number yang lebih tinggi.

DAFTAR REFERENSI

Tom's, B. A., 1948, "Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solution Through Straight Tubes at Large Reynolds Numbers", Proc. Int. Congr. Rheol. P. 135, 1948. Scheveningen, Holland.

Sylvestor, N. D., and S. M. Kumor, "Degradation of Dilute Polymer Solutions in Turbulent Tube Flow", AIChE Symp. Series, 130, 69.

Smyth HF, Carpenter CP, Weil CS. The toxicology of the polyethylene glycols. J Am Pharm Assoc (Sci) 1950; 39: 349-354.

Union Carbide Corporation. Technical literature: Carbowax polyethylene glycols, 1986.

API Recommended Practice 551 (1st ed), May 1993

Munson, Bruce R., Young, Donald F, & Okiishi, Theodore H.. (2002). Fundamentals of Fluid Mechanics (4th ed.). United States of America: John Wiley & Sons.

Yanuar. "Pengurangan Hambatan Turbulen Dengan Aditif Polimer" jurnal Teknologi, Edisi No.1. Tahun XXI, Maret 2007, P. 32 – 38.

LAMPIRAN 1 Properti Fisika dari Air

TABLE B.1
Physical Properties of Water (BG Units)^a

Temperature (°F)	Density, ρ (slugs/ft ³)	Specific Weight ^b , γ (lb/ft ³)	Dynamic Viscosity, μ (lb·s/ft ²)	Kinematic Viscosity, ν (ft ² /s)	Surface Tension ^c , σ (lb/ft)	Vapor Pressure, p_v [lb/in ² (abs)]	Speed of Sound ^d , c (ft/s)
32	1.940	62.42	3.732 E - 5	1.924 E - 5	5.18 E - 3	8.854 E - 2	4603
40	1.940	62.43	3.228 E - 5	1.664 E - 5	5.13 E - 3	1.217 E - 1	4672
50	1.940	62.41	2.730 E - 5	1.407 E - 5	5.09 E - 3	1.781 E - 1	4748
60	1.938	62.37	2.344 E - 5	1.210 E - 5	5.03 E - 3	2.563 E - 1	4814
70	1.936	62.30	2.037 E - 5	1.052 E - 5	4.97 E - 3	3.631 E - 1	4871
80	1.934	62.22	1.791 E - 5	9.262 E - 6	4.91 E - 3	5.069 E - 1	4819
90	1.931	62.11	1.500 E - 5	8.233 E - 6	4.86 E - 3	6.979 E - 1	4960
100	1.927	62.00	1.423 E - 5	7.383 E - 6	4.79 E - 3	9.493 E - 1	4995
120	1.918	61.71	1.164 E - 5	6.067 E - 6	4.67 E - 3	1.692 E + 0	5049
140	1.908	61.38	9.743 E - 6	5.106 E - 6	4.53 E - 3	2.888 E + 0	5091
160	1.896	61.00	8.315 E - 6	4.385 E - 6	4.40 E - 3	4.736 E + 0	5101
180	1.883	60.58	7.207 E - 6	3.827 E - 6	4.26 E - 3	7.507 E + 0	5195
200	1.869	60.12	6.342 E - 6	3.393 E - 6	4.12 E - 3	1.152 E + 1	5089
212	1.860	59.83	5.886 E - 6	3.165 E - 6	4.04 E - 3	1.469 E + 1	5062

^aBased on data from *Handbook of Chemistry and Physics*, 69th Ed., CRC Press, 1988. Where necessary, values obtained by interpolation.

^bDensity and specific weight are related through the equation $\gamma = \rho g$. For this table, $g = 32.174 \text{ ft/s}^2$.

^cIn contact with air.

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

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

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

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

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

^cIn contact with air.

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

LAMPIRAN 2
Hasil Perhitungan Data Air Murni.

Data Air Murni												
Kat up	Wa ktu (s)	Mass a (Kg)	Su hu	Densit y (kg/m³)	Viskos itas (Pa-s)	Volume (m³)	Debit (m³/s)	Kece ptan (m/s)	Re	Dp 1 (m)	f1	f Blasi us
36	30	0.33800	27	996.45	0.00085885	0.0003392042	0.0000113068	0.97173718	4341	2.32900	0.03922	0.03898
72	30	0.35900	27	996.45	0.00085885	0.0003602790	0.0000120093	1.03211138	4610	2.58600	0.03860	0.03840
108	30	0.36800	27	996.45	0.00085885	0.0003693111	0.0000123104	1.05798604	4726	2.70040	0.03836	0.03816
144	30	0.38300	27	996.45	0.00085885	0.0003843645	0.0000128121	1.10111047	4918	2.89400	0.03796	0.03778
180	30	0.39700	27	996.45	0.00085885	0.0003984144	0.0000132805	1.14135994	5098	3.08170	0.03762	0.03744
216	30	0.41000	27	996.45	0.00085885	0.0004114607	0.0000137154	1.17873445	5265	3.25600	0.03727	0.03714
252	30	0.42800	27	996.45	0.00085885	0.0004295248	0.0000143175	1.23048376	5496	3.51300	0.03690	0.03675
288	30	0.44000	27	996.45	0.00085885	0.0004415676	0.0000147189	1.26498331	5650	3.68600	0.03663	0.03649
324	30	0.45700	27	996.45	0.00085885	0.0004586281	0.0000152876	1.31385766	5869	3.93800	0.03628	0.03615
360	30	0.46700	27	996.45	0.00085885	0.0004686638	0.0000156221	1.34260728	5997	4.08900	0.03607	0.03595
396	30	0.48300	27	996.45	0.00085885	0.0004847208	0.0000161574	1.38860668	6203	4.33700	0.03577	0.03565
432	30	0.49400	27	996.45	0.00085885	0.0004957599	0.0000165253	1.42023126	6344	4.51100	0.03556	0.03545
468	30	0.50800	27	996.45	0.00085885	0.0005098098	0.0000169937	1.46048073	6524	4.73600	0.03531	0.03521
504	30	0.51900	27	996.45	0.00085885	0.0005208490	0.0000173616	1.49210531	6665	4.91700	0.03512	0.03502
540	30	0.53010	27	996.45	0.00085885	0.0005319886	0.0000177330	1.52401739	6808	5.10200	0.03493	0.03483
576	30	0.55100	27	996.45	0.00085885	0.0005529630	0.0000184321	1.58410410	7076	5.45800	0.03459	0.03450
612	30	0.57400	27	996.45	0.00085885	0.0005760450	0.0000192015	1.65022822	7371	5.86200	0.03423	0.03415
648	30	0.60500	27	996.45	0.00085885	0.0006071554	0.0000202385	1.73935205	7769	6.42500	0.03377	0.03370
684	30	0.61700	27	996.45	0.00085885	0.0006191982	0.0000206399	1.77385159	7923	6.64900	0.03360	0.03354
720	30	0.62900	27	996.45	0.00085885	0.0006312409	0.0000210414	1.80835114	8078	6.87700	0.03344	0.03337

LAMPIRAN 3
Hasil Perhitungan Data Campuran Polimer 200 ppm.

Data Campuran Polimer 200 ppm												
Kat up Nozel	Waktu (s)	Massa (Kg)	Suhu	Density (kg/m³)	Viskositas (Pa-s)	Volume (m³)	Debit (m³/s)	Kecepatan (m/s)	Re	ΔH (m)	f	f Blasius
36	26	0.28	27	980	0.0008135	0.000281633	0.0000108320	0.931	4318	2.080	0.03817	0.03903
72	25	0.28	27	980	0.0008135	0.000285714	0.0000114286	0.982	4556	2.250	0.03709	0.03851
108	25	0.29	27	980	0.0008135	0.000290816	0.0000116327	1.000	4637	2.289	0.03642	0.03834
144	25	0.29	27	980	0.0008135	0.000298980	0.0000119592	1.028	4767	2.297	0.03458	0.03808
180	24	0.30	27	980	0.0008135	0.000304082	0.0000126701	1.089	5050	2.356	0.03160	0.03753
216	24	0.30	27	980	0.0008135	0.000309184	0.0000128827	1.107	5135	2.407	0.03123	0.03738
252	23	0.31	27	980	0.0008135	0.000318367	0.0000138421	1.190	5518	2.610	0.02933	0.03671
288	23	0.32	27	980	0.0008135	0.000327551	0.0000142413	1.224	5677	2.743	0.02912	0.03645
324	23	0.33	27	980	0.0008135	0.000334694	0.0000145519	1.251	5801	2.848	0.02896	0.03626
360	23	0.33	27	980	0.0008135	0.000337755	0.0000146850	1.262	5854	2.894	0.02889	0.03617
396	22	0.34	27	980	0.0008135	0.000341837	0.0000155380	1.335	6194	3.195	0.02849	0.03567
432	22	0.34	27	980	0.0008135	0.000344898	0.0000156772	1.347	6249	3.245	0.02843	0.03559
468	22	0.35	27	980	0.0008135	0.000354082	0.0000160946	1.383	6416	3.397	0.02823	0.03535
504	22	0.36	27	980	0.0008135	0.000363265	0.0000165121	1.419	6582	3.552	0.02805	0.03513
540	22	0.36	27	980	0.0008135	0.000366327	0.0000166512	1.431	6637	3.604	0.02799	0.03505
576	21	0.36	27	980	0.0008135	0.000369388	0.0000175899	1.512	7012	3.969	0.02762	0.03458
612	20	0.37	27	980	0.0008135	0.000372449	0.0000186224	1.600	7423	4.383	0.02721	0.03409
648	19	0.37	27	980	0.0008135	0.000375510	0.0000197637	1.699	7878	4.868	0.02683	0.03358
684	19	0.37	27	980	0.0008135	0.000378571	0.0000199248	1.712	7942	4.935	0.02676	0.03352
720	19	0.38	27	980	0.0008135	0.000390816	0.0000205693	1.768	8199	5.216	0.02654	0.03325

LAMPIRAN 4
Hasil Perhitungan Data Campuran Polimer 400 ppm.

Data Campuran Polimer 400 ppm												
Kat up	Wak tu (s)	Mass a (Kg)	Su hu	Densit y (kg/m ³)	Viskos itas (Pa-s)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kece ptan (m/s)	Re	ΔH (m)	f	f Blasi us
36	22.5	0.276	27	960	0.000938	0.000287500	0.0000127778	1.098	4327	2.34500	0.03092	0.03901
72	21.5	0.280	27	960	0.000938	0.000291667	0.0000135659	1.166	4594	2.46000	0.02878	0.03843
108	21	0.285	27	960	0.000938	0.000296875	0.0000141369	1.215	4787	2.53400	0.02730	0.03804
144	21	0.293	27	960	0.000938	0.000305208	0.0000145337	1.249	4922	2.57800	0.02628	0.03778
180	20.75	0.298	27	960	0.000938	0.000310417	0.0000149598	1.286	5066	2.67900	0.02577	0.03750
216	20.5	0.303	27	960	0.000938	0.000315625	0.0000153963	1.323	5214	2.75200	0.02500	0.03723
252	20	0.312	27	960	0.000938	0.000325000	0.0000162500	1.397	5503	2.87200	0.02342	0.03674
288	20	0.321	27	960	0.000938	0.000334375	0.0000167188	1.437	5662	3.02200	0.02328	0.03648
324	19.75	0.328	27	960	0.000938	0.000341667	0.0000172996	1.487	5858	3.21800	0.02315	0.03617
360	19.5	0.331	27	960	0.000938	0.00034792	0.0000176816	1.520	5988	3.35300	0.02309	0.03597
396	19	0.335	27	960	0.000938	0.000348958	0.0000183662	1.578	6220	3.56800	0.02277	0.03563
432	18.75	0.338	27	960	0.000938	0.000352083	0.0000187778	1.614	6359	3.72000	0.02271	0.03543
468	18.75	0.347	27	960	0.000938	0.000361458	0.0000192778	1.657	6528	3.89100	0.02254	0.03520
504	18.75	0.356	27	960	0.000938	0.000370833	0.0000197778	1.700	6698	4.06800	0.02239	0.03497
540	18.5	0.359	27	960	0.000938	0.000373958	0.0000202140	1.737	6845	4.23900	0.02234	0.03478
576	18.5	0.362	27	960	0.000938	0.000377083	0.0000203829	1.752	6902	4.26100	0.02208	0.03471
612	17.5	0.365	27	960	0.000938	0.000380208	0.0000217262	1.867	7357	4.76800	0.02175	0.03416
648	16.75	0.368	27	960	0.000938	0.000383333	0.0000228856	1.967	7750	5.21700	0.02145	0.03372
684	16.5	0.371	27	960	0.000938	0.000386458	0.0000234217	2.013	7932	5.39800	0.02119	0.03353
720	16.5	0.383	27	960	0.000938	0.000398958	0.0000241793	2.078	8188	5.76500	0.02123	0.03326

LAMPIRAN 5
Hasil Perhitungan Data Campuran Polimer 600 ppm.

Data Campuran Polimer 600 ppm												
Kat up Noz zel	Wak tu (s)	Mass a (Kg)	Su hu	Densit y (kg/m ³)	Viskos itas (Pa-s)	Volume (m ³)	Debit (m ³ /s)	Kece ptan (m/s)	Re	ΔH (m)	f	f Blasius
36	22	0.276	27	945	0.000931280	0.000292063	0.0000132756	1.141	4457	1.79800	0.02196	0.03872
72	22	0.280	27	945	0.000931280	0.000296296	0.0000134680	1.157	4522	1.75900	0.02088	0.03858
108	21	0.285	27	945	0.000931280	0.000301587	0.0000143613	1.234	4822	1.88600	0.01969	0.03797
144	21	0.293	27	945	0.000931280	0.000310053	0.0000147644	1.269	4957	1.92800	0.01904	0.03771
180	20.75	0.298	27	945	0.000931280	0.000315344	0.0000151973	1.306	5103	2.03500	0.01897	0.03744
216	20.5	0.303	27	945	0.000931280	0.000320635	0.0000156407	1.344	5251	2.10100	0.01849	0.03717
252	20	0.312	27	945	0.000931280	0.000330159	0.0000165079	1.419	5543	2.22100	0.01755	0.03667
288	20	0.321	27	945	0.000931280	0.000339683	0.0000169841	1.460	5702	2.33800	0.01745	0.03641
324	20	0.328	27	945	0.000931280	0.000347090	0.0000173545	1.491	5827	2.42600	0.01734	0.03621
360	19.75	0.331	27	945	0.000931280	0.000350265	0.0000177349	1.524	5955	2.52800	0.01730	0.03602
396	19	0.335	27	945	0.000931280	0.000354497	0.0000186578	1.603	6264	2.75800	0.01706	0.03556
432	19	0.338	27	945	0.000931280	0.000357672	0.0000188248	1.618	6321	2.80100	0.01702	0.03549
468	18.75	0.347	27	945	0.000931280	0.000367196	0.0000195838	1.683	6575	3.01100	0.01690	0.03514
504	18.75	0.356	27	945	0.000931280	0.000376720	0.0000200917	1.727	6746	3.14600	0.01678	0.03491
540	18.5	0.359	27	945	0.000931280	0.000379894	0.0000205348	1.765	6895	3.27900	0.01674	0.03472
576	18.5	0.362	27	945	0.000931280	0.000383069	0.0000207064	1.780	6952	3.29600	0.01655	0.03465
612	18	0.365	27	945	0.000931280	0.000386243	0.0000214580	1.844	7205	3.48600	0.01630	0.03434
648	17	0.368	27	945	0.000931280	0.000389418	0.0000229069	1.969	7691	3.90100	0.01601	0.03379
684	17	0.371	27	945	0.000931280	0.000392593	0.0000230937	1.985	7754	3.93100	0.01587	0.03372
720	16.75	0.383	27	945	0.000931280	0.000405291	0.0000241965	2.080	8124	4.32500	0.01590	0.03333