



UNIVERSITAS INDONESIA

Kerugian Koefisien Pipa Lengkung Aliran Lumpur Lapindo  
Pada Pipa Spiral Lengkung

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Gunawan

06 06 02 9681

FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

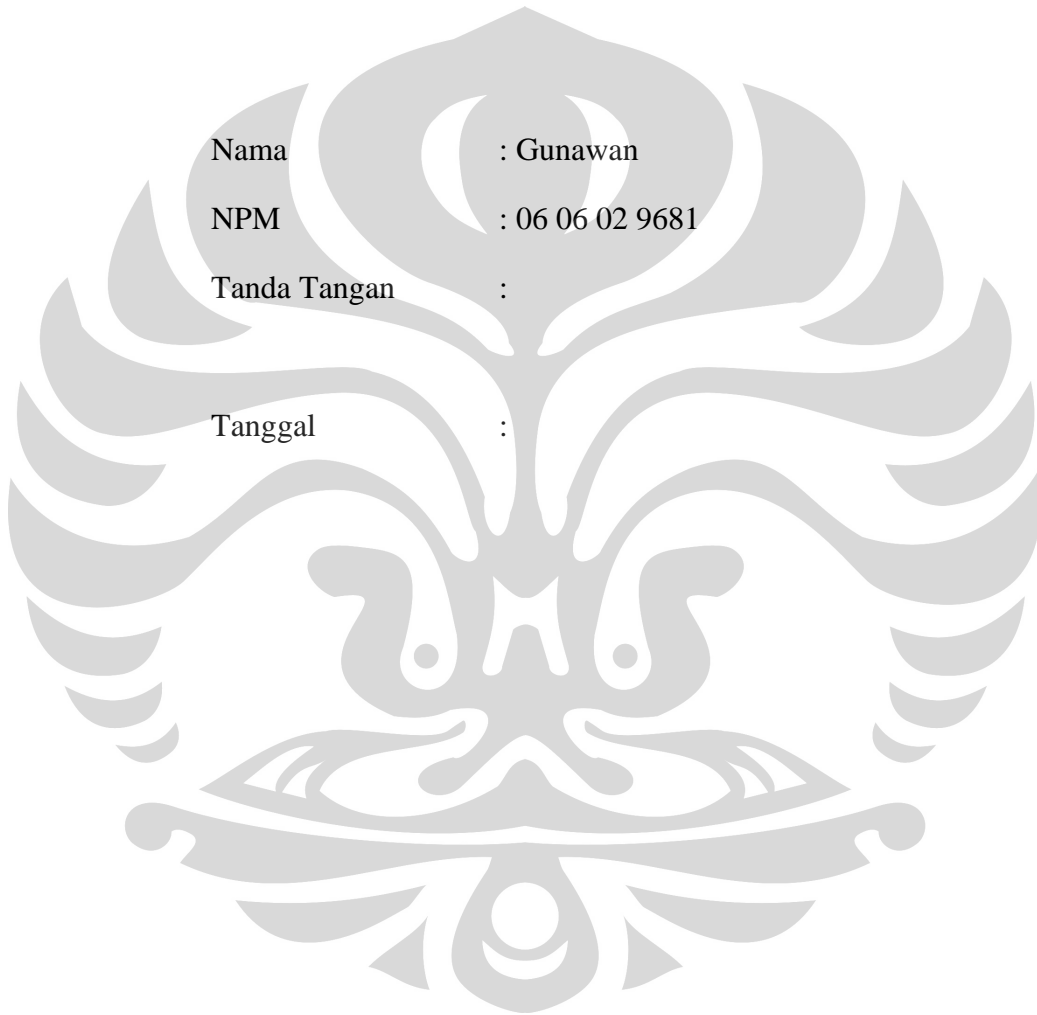
DEPOK

DESEMBER 2009

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Gunawan  
NPM : 06 06 02 9681  
Tanda Tangan :  
Tanggal :



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. Sunaryo, Ph.D, Ir. M. A. Talahatu, M.T, Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen pada program studi Teknik Perkapalan yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Ir. Imansyah Ibnu Hakiem, M.Eng, Mohammad Adhitya, ST, M.Sc, Sugeng Supriyadi, ST, MS-Eng, Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, Ph.D, Ir. Ridwan, M.T yang telah memberikan ilmu maupun bantuannya.
4. Bapak dan Emak tercinta, kakak dan adik yang telah sabar memberikan nasihat dan dukungannya sehingga skripsi ini terselesaikan.
5. Ari Marliasari Fadilah (FKIP UNSWAGATI) yang dengan sabar selalu menemani dan memberikan semangat baik langsung maupun tidak langsung.
6. Bapak Sukmadi, Muhammad Iqra' dan Sadam yang telah membantu dalam pengambilan sampel.
7. Muhammad Baqi, rekan seperjuangan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Para sahabat, teman dekat dan pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Desember 2009

Gunawan

HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Gunawan  
NPM : 06 06 02 9681  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

“Kerugian Koefisien Pipa Lengkung Aliran Lumpur Lapindo  
Pada Pipa Spiral Lengkung”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan,

Gunawan

[iv]

## Abstrak

Peristiwa terjadinya letusan lumpur dan gas secara tidak terkendali dari lubang 150 meter dari LUSI (Lumpur Sidoarjo) sumur pengeboran eksplorasi hydrocarbon yang terus menerus keluar hingga + 160.000 m<sup>3</sup> per hari. Ketika laju aliran lumpur di dalam pipa berjalan lambat terjadi pengendapan pada bagian bawah, hanya cairan yang mengalir di atasnya. Sebaliknya, ketika aliran kecepatan terlalu tinggi menaikkan kerugian jatuh tekanan dan abrasi pada dinding pipa. Aliran dalam pipa spiral pada jarak langkah yang konstan menyebabkan aliran terus bercampur akibat perputaran sehingga dapat mencegah pengendapan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kerugian jatuh tekanan (*minor losses*) dan distribusi kecepatan pada pipa bulat lengkung dan spiral lengkung. Pengukuran distribusi kecepatan di dalam pipa spiral lengkung untuk dapat mengetahui proses pengendapan lumpur menggunakan alat pitot tube pada lokasi  $\theta = 45^\circ$  dan penggunaan manometer untuk mengukur minor losses. *Minor losses* yang terjadi pada pipa bulat lengkung ternyata lebih kecil dibanding pada pipa spiral lengkung. Namun, untuk konsentrasi kepadatan lumpur 50%, pada  $Re = 2 \times 10^3$  terjadi penurunan minor losses pada pipa spiral sehingga berhimpit dengan pipa bulat. Distribusi kecepatan pada pipa bulat lengkung berbeda dengan pipa spiral lengkung. Dimana untuk pipa bulat lengkung,  $D = 24.6$  mm terjadi ketebalan kecepatan minimum 0.42 m/s lebih besar dibanding ketebalan kecepatan minimum 0.36 m/s pada pipa spiral lengkung  $P/D = 6.7$  sehingga pada pipa bulat terjadi pengendapan sedangkan pada pipa spiral belum mengalami pengendapan. Variasi kepadatan Lumpur yang digunakan yaitu 50% dan 30%, dengan diameter rata-rata Lumpur adalah  $5 \times 10^{-3}$  mm.

Kata kunci: *minor losses*, distribusi kecepatan, pipa spiral lengkung, jatuh tekanan, pitot tube, manometer

## Abstract

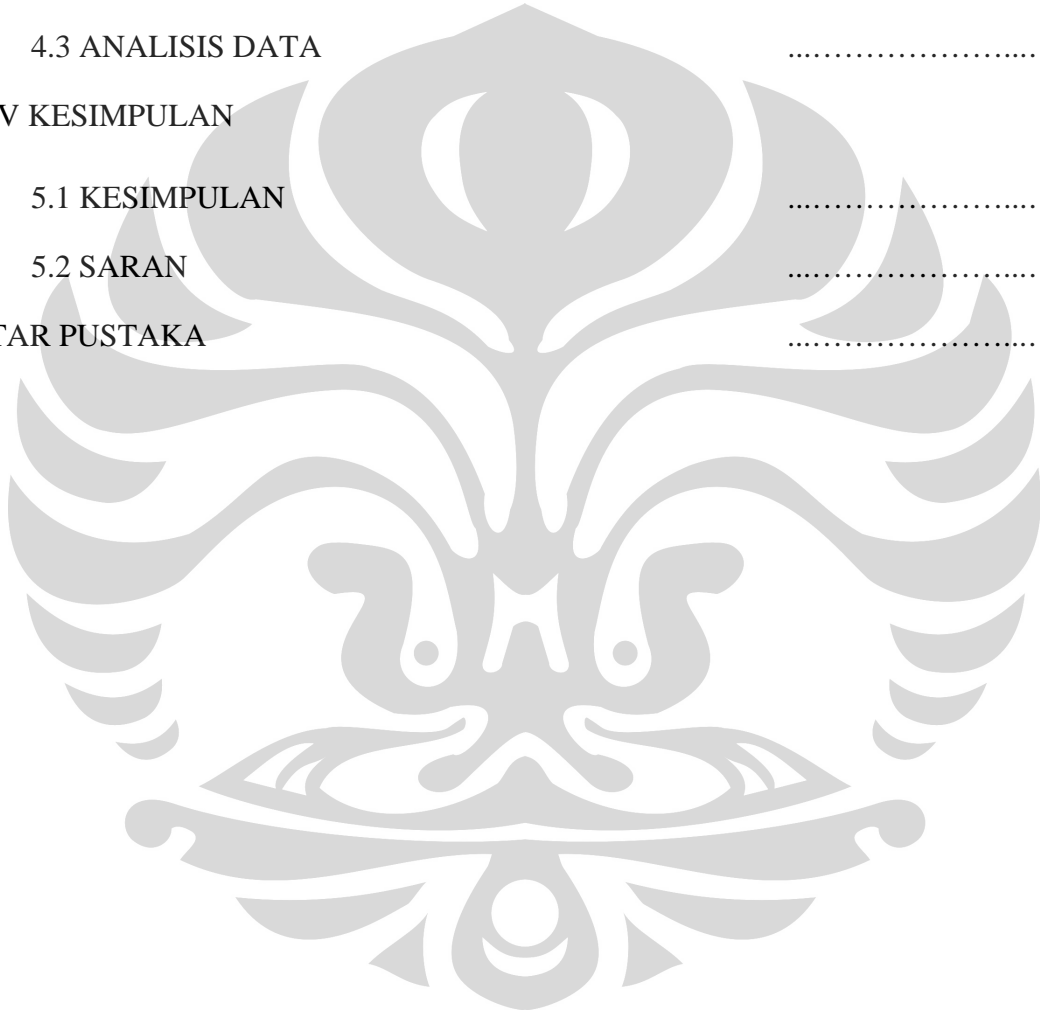
Events of mud and gas eruption is not controlled from the hole 150 metres from LUSI (Lumpur Sidoarjo) hydrocarbon exploration wells drilling continuing approximately 160,000 m<sup>3</sup> per day. When the mud flow rate in the pipe slow subsidence occurred at the bottom, only the fluid that flows in pipe. Conversely, when the flow speed is too high increasing the pressure and the loss falls on the pipe wall abrasion. Spiral flow in a pipe at a constant distance measures the flow velocity due to continued mixing so as to prevent sedimentation. The purpose of this study is to determine the loss of pressure fall (minor losses) and the velocity distribution in curved circular pipes and spiral curves. Measurement of velocity distribution inside the spiral pipe arch to know process of settling of the mud using a pitot tube at a  $\theta = 45^\circ$  and using manometer to measurement of minor losses. Minor losses that occur in curved circular pipe is greater than the spiral pipe arch. However, for the concentration density of mud 50%, at  $Re = 2 \times 10^3$  minor decrease spiraling losses in the pipe so that coincide with a round pipe. Velocity distribution in curved circular pipe is different from the spiral pipe arch. Where to bend round pipe,  $D = 24.6$  mm occurred a minimum speed of 0.42 m/s greater than the thickness of a minimum speed of 0.36 m / s on the spiral curved pipe  $P / D = 6.7$ . So that when the precipitation occurs round the pipe, the pipe has not experienced precipitation spiral. Mud density variations that are used are 50% and 30%, with an average diameter of Mud is  $5 \times 10^{-3}$  mm.

Keywords: minor losses, velocity distribution, spiral pipe, mud slurry, pitot tube, manometer

## DAFTAR ISI

	halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 LATAR BELAKANG	01
1.2 TUJUAN PENELITIAN	03
1.3 METODE PENELITIAN	03
1.4 BATASAN PENELITIAN	03
1.5 METODE PENULISAN	03
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	04
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 KLASIFIKASI FLUIDA	06
2.2 ALIRAN FLUIDA	11
2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA	13
2.4 PERSAMAAN FLUIDA	15
<b>BAB III DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN</b>	
3.1 RANCANGAN ALAT UJI	19
3.2 PERALATAN PENDUKUNG	20

3.3 KONDISI DALAM PENGUJIAN	.....23
3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	.....23
3.5 TAHAPAN PENGUJIAN	.....24
<b>BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA</b>	
4.1 PERHITUNGAN DATA	.....27
4.2 DISTRIBUSI KECEPATAN	.....54
4.3 ANALISIS DATA	.....67
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 KESIMPULAN	.....70
5.2 SARAN	.....70
DAFTAR PUSTAKA	.....71





## DAFTAR GAMBAR

halaman

<b>Gambar 2.1</b> Hubungan antara shear stress – shear rate pada fluida non-newtonian .....	07
<b>Gambar 2.2</b> Distribusi Kecepatan <i>bingham plastic fluid</i> pada pipa .....	08
<b>Gambar 2.3</b> Hubungan shear stress ( $\tau$ ) - shear rate ( $\dot{\gamma}$ ) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu .....	09
<b>Gambar 2.4</b> Salah satu kerugian head yang disebabkan oleh belokan .....	12
<b>Gambar 2.5</b> Distribusi Kecepatan <i>laminar dan turbulent</i> pada pipa bulat .....	17
<b>Gambar 2.6</b> Pengukuran perbedaan tekanan pada pitot tube .....	18
<b>Gambar 3.1</b> Instalasi alat uji pipa spiral .....	20
<b>Gambar 3.2</b> Pompa slurry .....	21
<b>Gambar 3.3</b> Manometer .....	22
<b>Gambar 3.4</b> Valve dengan busur derajat .....	22
<b>Gambar 3.5</b> Pitot tube .....	23
<b>Gambar 4.1</b> Minor Loses pada spiral P/D = 4.3 dengan konsentrasi 50% .....	32
<b>Gambar 4.2</b> Minor Loses pada circular D = 31.3 mm dengan konsentrasi 50% .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan Minor Loses spiral P/D = 4.3 dan circular D = 31.3 mm pada konsentrasi 50% .....	36
<b>Gambar 4.4</b> Minor Loses spiral P/D = 6.7 pada konsentrasi 50% .....	39

<b>Gambar 4.5</b> Minor Loses Circular $D = 24.6$ mm	
pada konsentrasi 50%	.....43
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan Minor Loses spiral $P/D = 6.7$	
dan circular $D = 24.6$ mm pada konsentrasi 50%	.....43
<b>Gambar 4.7</b> Minor Loses spiral $P/D = 4.3$ pada konsentrasi 30%	.....46
<b>Gambar 4.8</b> Minor Loses circular $D = 31.3$ mm pada konsentrasi 30%	.....48
<b>Gambar 4.9</b> Perbandingan Minor Loses spiral $P/D = 4.3$	
dan circular $D = 31.3$ mm pada konsentrasi 30%	.....49
<b>Gambar 4.10</b> Minor Loses spiral $P/D = 6.7$ pada konsentrasi 30%	.....51
<b>Gambar 4.11</b> Minor Loses circular $D = 24.6$ mm pada konsentrasi 30%	.....54
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan Minor Loses spiral $P/D = 6.7$	
dan circular $D = 24.6$ mm pada konsentrasi 30%	.....54
<b>Gambar.4.13</b> Pengukuran selisih jarak pada pitot tube	.....55
<b>Gambar.4.14</b> Kedudukan pengukuran pitot tube	.....55
<b>Gambar.4.15</b> Distribusi kecepatan pipa spiral lengkung $P/D = 6.7$	.....62
<b>Gambar.4.16</b> Distribusi kecepatan pipa circular 24.6 mm	.....62
<b>Gambar.4.17</b> Bentuk layer distribusi kecepatan	.....64
<b>Gambar 4.18</b> Perbandingan Minor Loses spiral $P/D = 6.7$	
dan circular $D = 24.6$ mm pada konsentrasi 50%	.....68
<b>Gambar 4.19</b> Perbandingan Minor Loses spiral $P/D = 4.3$	
dan circular $D = 31.3$ mm pada konsentrasi 50%	.....68

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Data hasil penelitian pada pipa spiral $P/D = 4,3$	28
Tabel 4.2 Hasil perhitungan debit, $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan	29
Tabel 4.3 Hasil perhitungan tegangan geser dan gradient kecepatan	29
Tabel 4.4 Apparent viscosity padatan 50%	30
Tabel 4.5 Minor Losses	31
Tabel 4.6 Data hasil penelitian pipa bulat lengkung dengan $D = 31,3$ mm dan $L = 9100$ mm	32
Tabel 4.7 Hasil perhitungan debit, $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan	33
Tabel 4.8 Gradient kecepatan dan tegangan geser	33
Tabel 4.9 Apparent viscosity padatan 50%	34
Tabel 4.10 Minor Losses	34
Tabel 4.11 Data hasil penelitian pipa spiral lengkung $P/Do = 6,7$	36
Tabel 4.12 Hasil perhitungan debit, $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan	37
Tabel 4.13 Gradient kecepatan dan tegangan geser	37
Tabel 4.14 Apparent viscosity padatan 50%	38
Tabel 4.15 Minor Losses	39
Tabel 4.16 Data hasil penelitian pipa bulat lengkung dengan $D = 24,6$ mm dan $L = 880$ mm	40

Tabel 4.17 Hasil perhitungan debit, $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan	.....40
Tabel 4.18 Gradient kecepatan dan tegangan geser	.....41
Tabel 4.19 Apparent viscosity padatan 50%	.....42
Tabel 4.20 Minor Losses	.....42
Tabel 4.21 Data dari percobaan dengan pipa spiral $P/D_o = 4,3$	.....44
Tabel 4.22 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan $\Delta P$	.....44
Tabel 4.23 Gradient kecepatan dan tegangan geser	.....44
Tabel 4.24 Apparent Viscosity	.....45
Tabel 4.25 Minor Losses	.....45
Tabel 4.26 Data dari percobaan dengan pipa bulat lengkung $D = 31,3$ mm	.....46
Tabel 4.27 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan $\Delta P$	.....46
Tabel 4.28 Gradient kecepatan dan tegangan geser	.....47
Tabel 4.29 Apparent Viscosity	.....47
Tabel 4.30 Minor Losses	.....48
Tabel 4.31 Data dari percobaan dengan pipa spiral lengkung $P/D = 6,7$	.....49
Tabel 4.32 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan $\Delta P$	.....49
Tabel 4.33 Gradient kecepatan dan tegangan geser	.....50

Tabel 4.34 Apparent viscosity	.....50
Tabel 4.35 Minor Losses	.....51
Tabel 4.36 Data dari percobaan	
dengan bulat lengkung $D = 24,6 \text{ mm}$	.....51
Tabel 4.37 Perhitungan Debit,	
luas penampang, kecepatan dan $\Delta P$	.....52
Tabel 4.38 Gradient kecepatan dan tegangan geser	.....52
Tabel 4.39 Apparent viscosity	.....53
Tabel 4.40 Minor Losses	.....53
Table 4.41 Distribusi Kecepatan pada Pipa Spiral $P/D = 3.9$	.....57
Table 4.42 Distribusi Kecepatan pada Pipa Spiral $P/D = 4.3$	.....58
Table 4.43 Distribusi Kecepatan pada Pipa Spiral $P/D = 6.7$	.....59
Table 4.44 Distribusi Kecepatan pada Pipa Circular $D = 31.3 \text{ mm}$	.....60
Table 4.45 Distribusi Kecepatan pada Pipa Circular $D = 24.6 \text{ mm}$	.....61
Tabel. 4.46 Control Debit total dan hasil	.....65
Tabel. 4.47 Kecepatan dan luasan minimum	.....69

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Peristiwa terjadinya letusan lumpur dan gas secara tidak terkendali dari lubang 150 meter dari sebuah sumur pengeboran yang merupakan eksplorasi hydrocarbon oleh PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Letusan itu disebut LUSI (Lumpur Sidoarjo) yang terus menerus keluar hingga  $\pm 160.000$  m<sup>3</sup> per hari.

Pada dasarnya lumpur merupakan suatu campuran antara solid dengan liquid dimana secara fisik tergantung dari beberapa faktor seperti ukuran dan distribusi partikel, konsentrasi solid dalam fase liquid, ukuran dari saluran, tingkat turbulensi, temperatur, dan viskositas dinamik absolute. Semburan yang terus menerus keluar dapat menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian yang dapat mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur sehingga perlu diatasi dengan cara mengangkut lumpur tersebut melalui suatu sistem transportasi yang dapat mengangkut lumpur dalam jumlah besar sehingga menghindari pembuangan ke arah sungai yang mengalami pendangkalan.

Umumnya telah ada sistem transportasi untuk pengangkutan lumpur dimana digunakan sistem perpipaan yang diteruskan oleh truk dan kapal tetapi secara ekonomis membuat pengangkutan tersebut menjadi mahal karena begitu besarnya daya yang dikeluarkan oleh pompa sebagai penyalur lumpur tersebut sehingga hasil yang didapatkan tidak cukup menutupi biaya operasionalnya. Oleh karena itu, diperlukan penghematan energy berupa penghematan daya pompa melalui suatu sistem perpipaan dimana dengan daya yang rendah tetapi mampu mengangkut cukup banyak lumpur. Penggunaan sistem perpipaan ini juga memiliki kendala jika digunakan pada kecepatan tinggi maka daya yang diperlukan oleh pompa menjadi sangat besar sehingga dimungkinkan biaya operasional menjadi besar. Jika pengangkutan dengan kecepatan rendah, akan membuat lumpur mengendap pada pipa bulat karena konsentrasi berat jenis dari material lumpur lebih besar dari liquidnya. Untuk itu, digunakan pipa spiral dimana dengan penampangannya yang berbentuk spiral membuat partikel-partikel lumpur tetap terdispersi dalam aliran menahan untuk tidak mengendap sehingga dimungkinkan tidak terjadi pengendapan di dalam pipa walaupun dengan kecepatan rendah. Sistem perpipaan spiral

ini juga bias diterapkan selain sebagai alat transportasi dari area lumpur ke kapal berupa barge juga sistem perpipaan spiral ini bisa digunakan pada sistem perpipaan pada barge yang akan mengangkut lumpur tersebut ke tempat pembuangan ataupun dibuang ditengah laut yang mana menggunakan pompa diharapkan dapat menghemat energy pompa dengan digunakannya sistem perpipaan spiral didalamnya.

Telah ada penelitian sebelumnya oleh Yanuar yang dilatar belakangi diinginkannya penyaluran lumpur dengan kecepatan rendah dan pressure drop rendah (melambangkan kerugian) tetapi lumpur dapat terdispersi seperti pada kecepatan tinggi yaitu “*Mengatasi Pengendapan Aliran Lumpur Lapindo pada Pipa Spiral Lurus*”, yang menghasilkan kurva aliran (flow curve) lumpur pada nilai kepadatan  $C_w = 50\%$  tergolong fluida non Newtonian (pseudoplastic) dengan nilai Power Law index,  $n = 0.93$  dimana pada nilai kepadatan  $C_w \leq 30\%$  tergolong fluida Newtonian. Hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds genenalis menunjukkan rasio  $P/D_i = 6.7$  mempunyai koefisien gesek kecil untuk aliran turbulen, pada aliran laminar tidak terlihat adanya penurunan yang berarti, drag reduction terjadi pada pipa spiral lurus dengan  $Re' = 32 \times 10^3$  sebesar  $DR = 28\%$  untuk  $C_w = 30\%$  bila dibandingkan dengan koefisien gesek pada pipa bulat. Hal tersebut menunjukkan efisiensi penghematan energy oleh pipa spiral lurus dibandingkan dengan pipa bulat tetapi pada kenyataannya pada sistem perpipaan tidak hanya digunakan untuk pipa spiral lurus tetapi ada banyak lengkungan yang disesuaikan dengan keadaan. Untuk meyesuaikan dengan lokasi keadaan digunakan pipa spiral lengkung (elbow) dengan  $\theta = 90^\circ$  dan  $\theta = 180^\circ$ .

Pada sistim perpipaan banyak digunakan pipa lengkung, sambungan, percabangan yang disesuaikan dengan kondisi penempatannya. Jatuh tekanan yang terjadi pada belokan/lengkungan (elbow) akan lebih tinggi dibanding pada pipa lurus. Pada lengkungan pipa akan terjadi perubahan distribusi kecepatan secara tiba-tiba sehingga menyebabkan kenaikan olakan aliran (vortex) dimana hal ini akan membuang energi percuma. Akibat kenaikan olakan, getaran meningkat, kecepatan aliran searah sumbu pipa mengalami perlambatan aliran. Inilah yang memungkinkan awal terjadinya proses pengendapan. Koefisien jatuh tekanan atau koefisien kerugian gesek pada lengkungan pipa dikenal dengan nama konstanta minor losses. Perhitungan cara minor losses ini dipakai pada aliran di dalam pipa saat aliran dinyatakan belum atau sedang berkembang penuh (developed flow), dengan kata lain bentuk profil distribusi kecepatan belum konstan.

## 1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui terjadinya kerugian jatuh tekanan dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa spiral lengkung agar dapat mengetahui kecepatan minimum atau kritis aliran supaya tidak terjadi proses pengendapan, sehingga diharapkan dengan kecepatan tersebut dapat menghemat pemakaian energy melalui pengurangan daya pompa yang digunakan.

## 1.3 METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan penelitian secara langsung di laboratorium dimana sampel lumpur diambil dari dekat daerah lumpur lapindo. 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, dan perbedaan tekanan melalui perbedaan ketinggian manometer. Untuk mendapatkan distribusi kecepatan, diketahui melalui perbedaan ketinggian pada pitot tube. Sedangkan pengujian tidak langsung adalah mendapatkan variable dengan cara mengolahnya melalui berbagai formula yang ada sehingga didapatkan hasil dari variable yang digunakan pada pengujian langsung seperti kapasitas aliran, kecepatan aliran dan bilangan Reynolds.

## 1.4 BATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya bertujuan untuk mengetahui kerugian jatuh tekan (minor losses) dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa spiral lengkung.

## 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 terjadinya kerugian jatuh tekanan dan distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa spiral lengkung agar dapat mengetahui kecepatan minimum atau kritis aliran supaya tidak terjadi proses pengendapan, sehingga diharapkan dengan kecepatan tersebut dapat menghemat pemakaian energi melalui pengurangan daya pompa yang digunakan.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

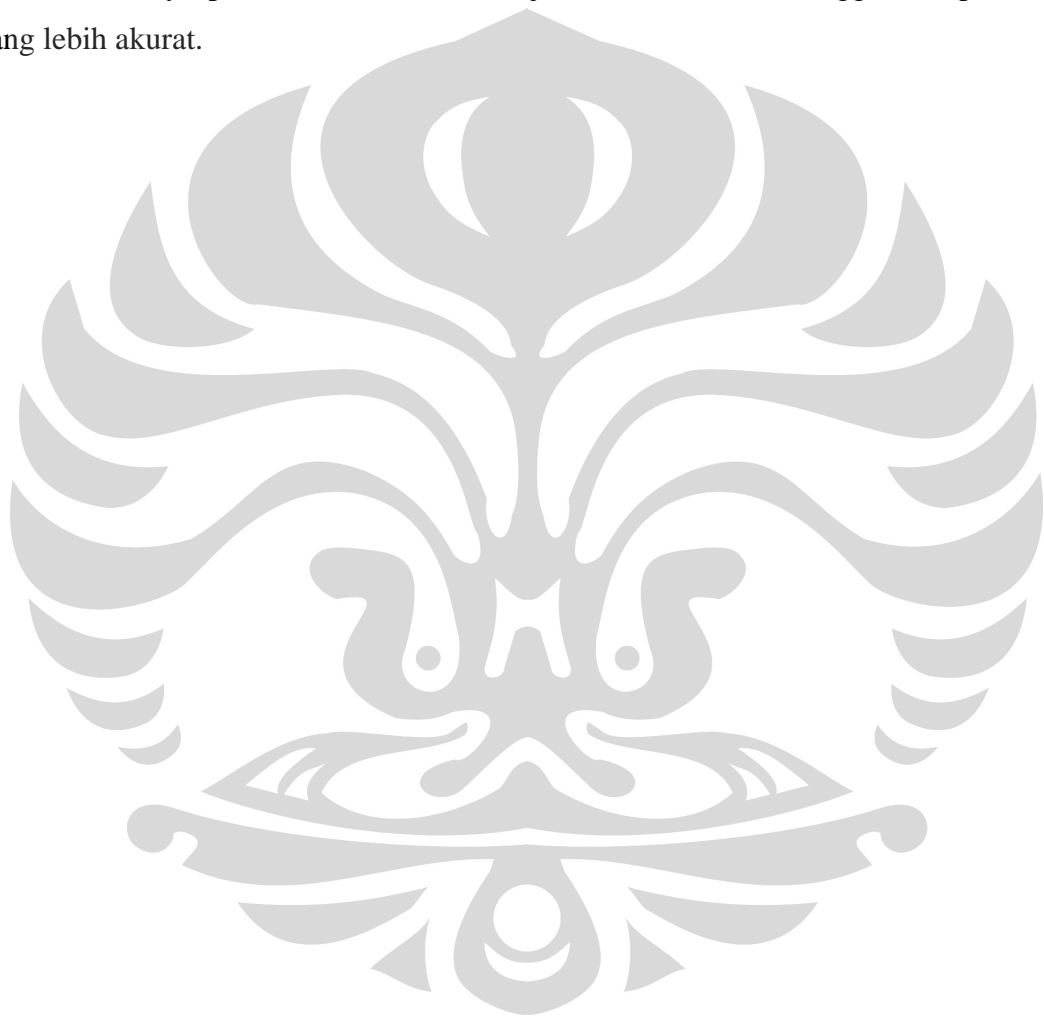
**BAB I** : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

**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 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 :

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

Dimana :

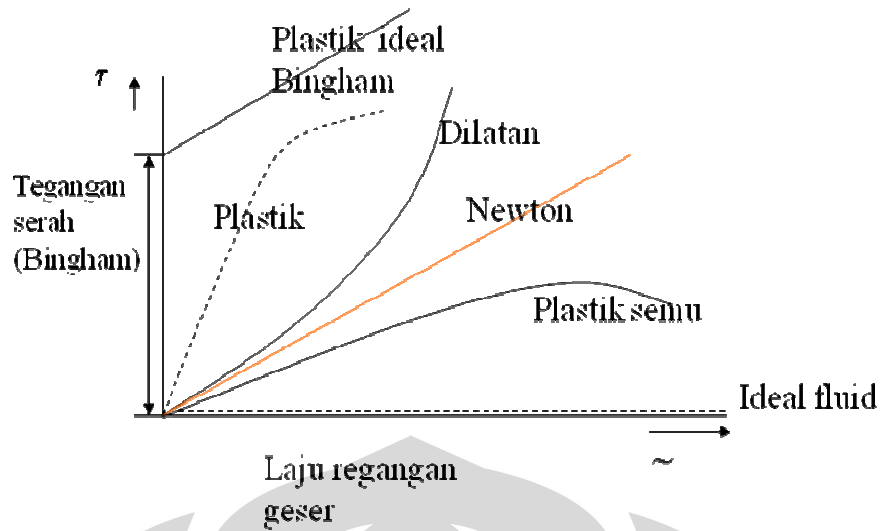
$\tau$  = Tegangan geser pada fluida

$\mu$  = Viskositas 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

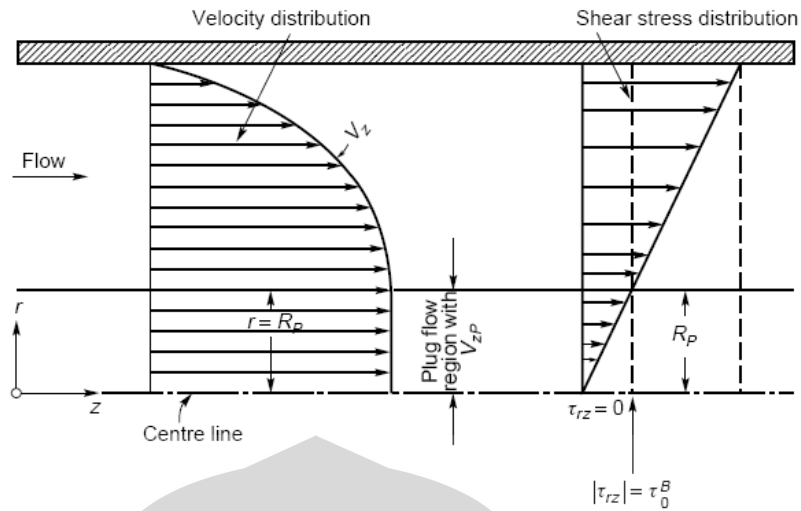
Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida Non-Newtonian dimana viskositasnya sangat bergantung pada shear stress dari fluida tersebut, dimana semakin lama viskositasnya akan menjadi konstan. Persamaan untuk model ini sebagai berikut :

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

Dimana :

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

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



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 :

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

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 :

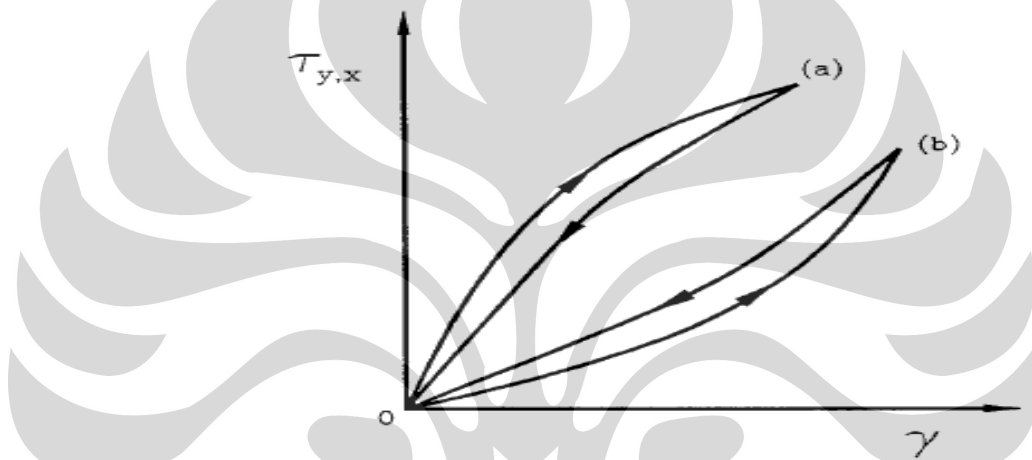
$$\tau = K \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \dots \dots \dots (2.4)$$

d) Penggolongan lain

- Thixotropic (shear thinning), fluida dimana viskositasnya berubah tergantung pada waktu dimana seolah-olah semakin lama semakin

berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viskositasnya akan menurun, misalnya cat, campuran tanah liat (clay), dan berbagai jenis gel.

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



Gambar 2.3 Hubungan shear stress ( $\tau$ ) - shear rate ( $\gamma$ ) pada thixotropic (a) dan rheopectic (b) yang tergantung pada waktu

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

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

Dimana :

K = Indeks konsistensi

$\tau$  = Tegangan geser

n = Indeks perilaku aliran (power law index)

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

Dengan :

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

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

### 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 dengan persamaan sebagai berikut :

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

atau

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

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

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

Dimana :

$$\mu = K8^{n-1}$$

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

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

## 2.2 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.

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 ( $\rho$ ), kecepatan aliran (V), diameter (D), dan viscositas absolute ( $\mu$ ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan ( $\lambda$ ) dan kekerasan relative dari dinding pada ( $\epsilon/D$ ) [4], jadi :

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

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

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

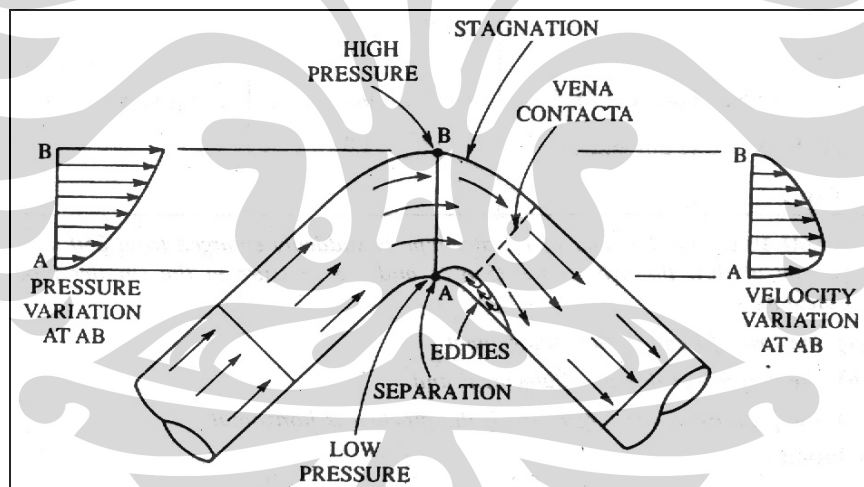


Dari persamaan di atas didapat beberapa bentuk fungsi dari ( $\lambda$ ) atau ( $f$ ). Persamaan fanning umumnya digunakan untuk menghitung faktor gesekan dimana zat kimia penyusunnya lebih diperhatikan (untuk fluida lebih dari satu phase). Nilai faktor gesekan dapat dikonversi ke formula Darcy menjadi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

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

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

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



Gambar 2.4 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:

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

## 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 :

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

Dimana m adalah massa dan v adalah volume dengan unit density adalah kg/m<sup>3</sup> dan dengan dimensi ML<sup>-3</sup> dimana standar tekanan P = 1.013 x 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> dan temperature T = 288.15 K, misalnya ρ air = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

#### 2.3.1.2 Berat spesifik

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

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

Dimana unit berat spesifik adalah N/m<sup>3</sup> dan dengan dimensi ML<sup>-3</sup>T<sup>-2</sup> dengan nilai γ air adalah 9.81 x 10<sup>3</sup> N/m<sup>3</sup>.

#### 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<sup>0</sup>C 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 :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} \dots\dots\dots (2.17)$$

### 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 menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskos) pada pipa bulat dengan aliran penuh sehingga berlaku persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

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

d = Diameter dalam pipa [m]

$\nu$  = viskositas kinematik fluida [m<sup>2</sup>/s]

$\mu$  = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Aliran dalam pipa yang berbentuk lingkaran terbagi menjadi dua bagian, yaitu aliran laminar dan aliran turbulent. Karakteristik kedua aliran tersebut berbeda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya.

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

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

## 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 :

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

Dimana :

V = Kecepatan aliran [m/s]

A = Luas penampang pipa [m]

Q = Debit aliran [m<sup>2</sup>/s]

$\mu$  = viskositas dinamik fluida [kg/ms]

Selain persamaan di atas dapat juga menggunakan persamaan sebagai berikut

:

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

Dimana :

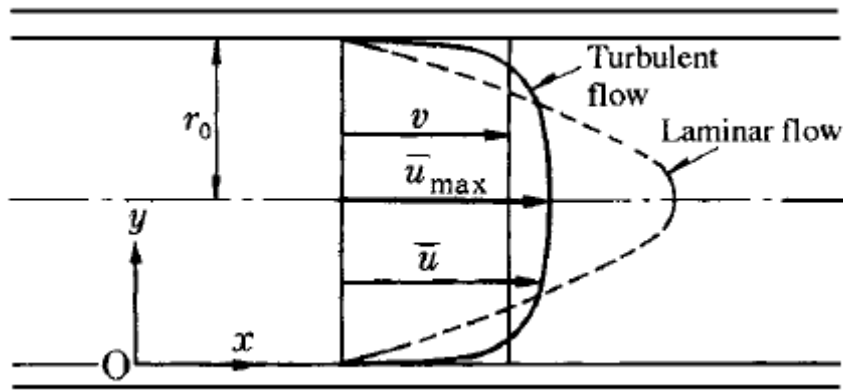
v = Volume aliran [m<sup>3</sup>]

Q = Debit aliran [m<sup>2</sup>/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 2.5 Distribusi Kecepatan *laminar dan turbulent* pada pipa bulat

Untuk aliran laminar maka berlaku persamaan sebagai berikut :

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

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

Dimana :

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

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

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

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

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

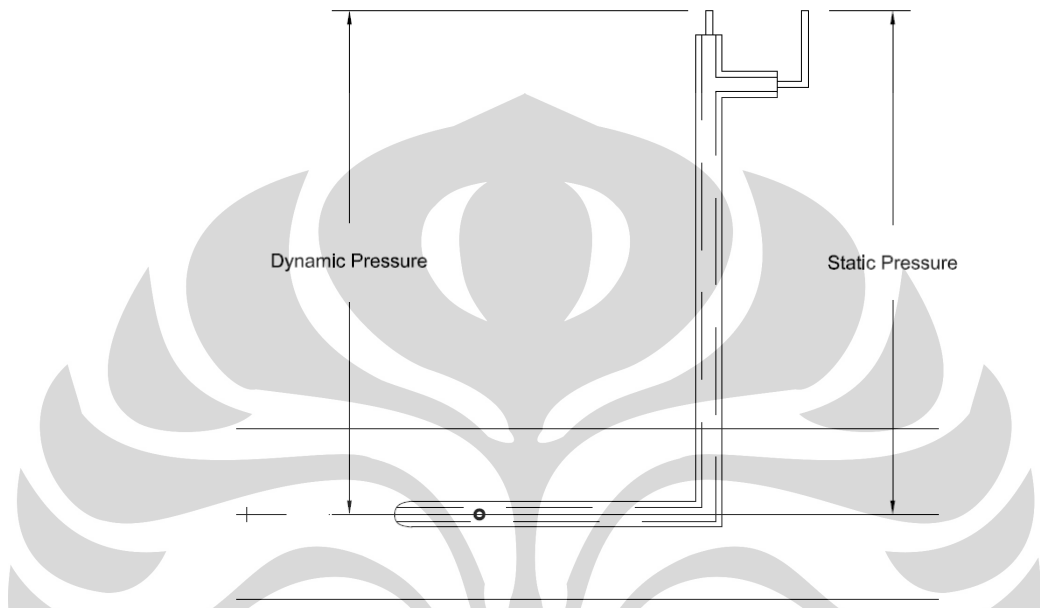
R = Jari-jari pipa [m]

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

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

Dimana :

- $v_c$  = Kecepatan aliran pada pusat pipa atau kecepatan maksimum [m/s]
- $v$  = Kecepatan aliran dalam jarak  $r$  atau  $y$  waktu aliran [m/s]
- $r$  = Jarak kecepatan aliran  $v$  dari titik pusat diameter dalam pipa [m]
- $R$  = Jari-jari pipa [m]



Gambar 2.6 Pengukuran perbedaan tekanan pada pitot tube

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

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

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

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

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

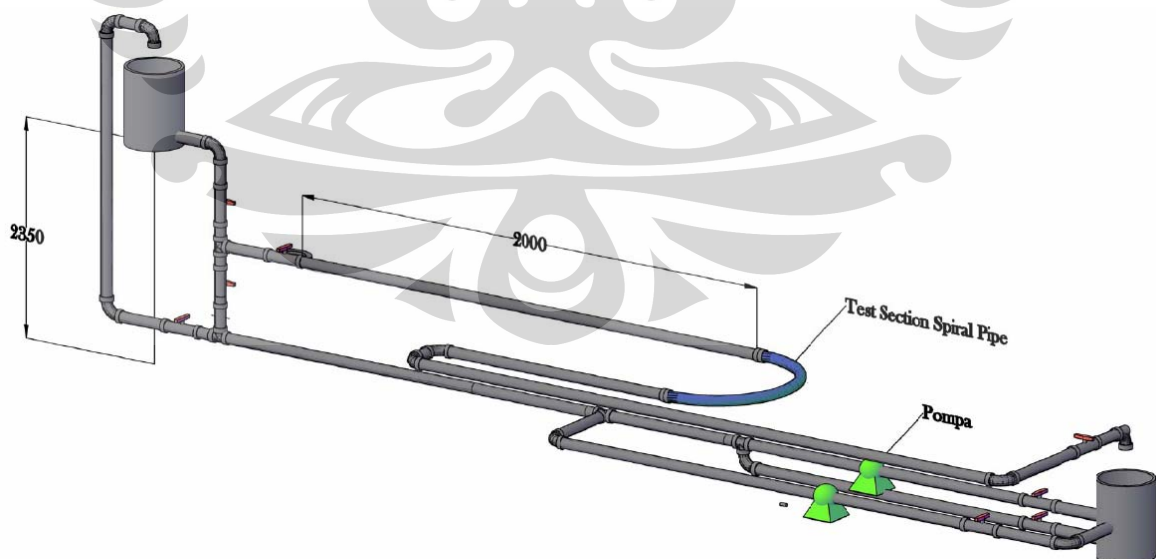
## BAB III

### DESKRIPSI ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

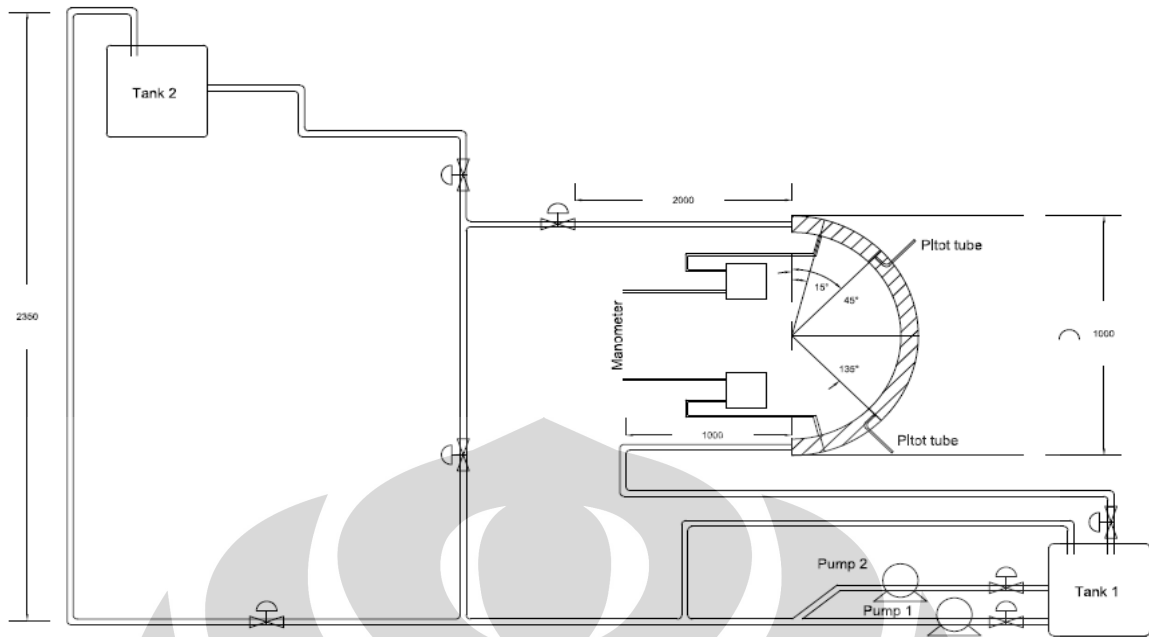
#### 3.1 RANCANGAN ALAT UJI

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 fluida yang akan diuji ditempatkan pada penampungan fluida (tank) kemudian dari penampungan ini akan ada dua saluran keluar dimana saluran atas akan terhubung dengan pompa dan saluran yang bawah berfungsi sebagai by-pass. Pada saat katup by-pass terbuka penuh maka aliran dari pompa akan kembali lagi menuju penampungan sehingga tidak akan ada fluida yang menuju ke pipa uji. Sesaat setelah katup by-pass mulai ditutup dan katup utama dibuka maka fluida akan mengalir melalui pipa uji (pipa spiral lengkung dan pipa bulat lengkung) dan perbedaan head ( $\Delta h$ ) akan terbaca pada manometer. Pada sudut kelengkungan tertentu, dipasang juga pitot tube untuk mengetahui head ( $\Delta h$ ) antara statik dan dinamik yang nantinya digunakan untuk mencari distribusi kecepatan aliran.







Gambar 3.1 Instalasi alat uji pipa spiral

### Spesifikasi alat uji

Alat uji terdiri dari dua buah pipa spiral dengan kelengkungan  $180^\circ$  dengan nilai  $R/a = 12$ , dan  $P/D = 6,7$  dan  $P/D = 4,3$  dan dua buah pipa bulat lengkung dengan nilai  $R/a = 12$  dan  $D = 27,2$  mm dan  $D = 4,24$  mm. Pada alat uji dipasang dua buah manometer, dimana manometer pertama diletakkan pada posisi  $5D$  dan manometer kedua  $45D$  pada lengkung setengah lingkaran. Pada alat uji juga dipasang pitot tube pada sudut kelengkungan  $45^\circ$  kemudian pada saluran keluar fluida dipasang sebuah gelas ukur, dimana gelas ukur ini berfungsi untuk menghitung volume fluida yang keluar per satuan waktu atau dengan kata lain untuk mengukur debit. Di bawah gelas ukur ditempatkan sebuah neraca untuk menentukan massa jenis dari fluida yang mengalir.

## 3.2 PERALATAN PENDUKUNG

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

### 3.2.1 Pompa Slurry

Pompa yang digunakan sebagai alat uji ini adalah pompa slurry dengan jenis reciprocating (pompa piston) dengan putaran motor sebesar 1450 rpm dengan kapasitas pompa sebesar 0,5 hp dimana pompa ini memiliki section head sejauh 15 meter dengan section lift sebesar 10 m. Daya yang dibutuhkan sebesar 370 watt dengan aliran listrik

satu phase. Sistem pelumasannya menggunakan oli dengan SAE 30 sebanyak 0,1 liter pada crank case.



Gambar 3.2 Pompa slurry

### 3.2.2 Kompresor

Kompresor ini digunakan untuk membantu aliran pada saat pompa mengalami kekurangan tekanan apabila sudah terjadi pengendapan lumpur pada pipa. Tekanan yang dihasilkan sebesar 3 BAR atau kurang lebih 50 psi.

### 3.2.3 Manometer

Manometer berfungsi untuk mengukur perbedaan tekanan dalam sebuah pipa jika terdapat fluida yang mengalir di dalamnya. Pada alat uji ini manometer yang digunakan adalah manometer jenis pipa kapiler tetapi terdapat setting bottle. Tujuan dipasang setting bottle ini karena fluida non-newtonian pada umumnya memiliki sifat histerisis yaitu suatu sifat yang sangat cepat berubah baik karena waktu maupun karena tegangan geser yang diterimanya.



Gambar 3.3. Manometer

#### 3.2.4 Valve

Valve ini digunakan untuk mengatur jumlah debit yang mengalir. Jenis valve yang digunakan adalah closed 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.

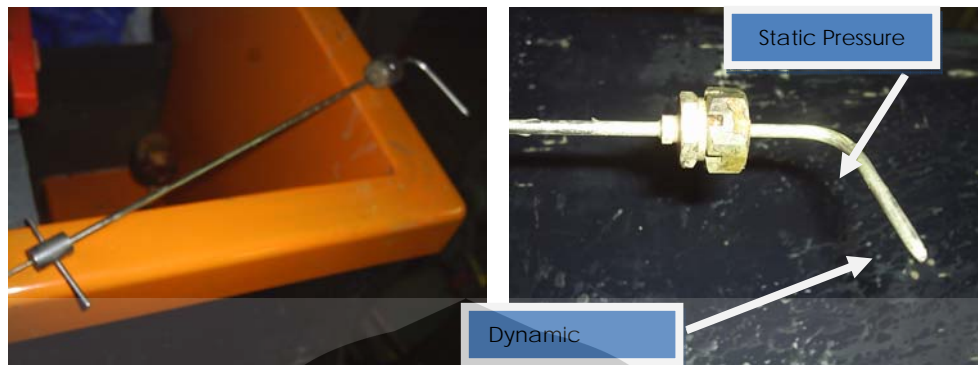


Gambar 3.4 Valve dengan busur derajat

#### 3.2.5 Pitot tube

Pitot tube merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui perbedaan ketinggian yang menggambarkan perbedaan tekanan antara tekanan statik dan tekanan dinamik sehingga dengan perbedaan tersebut didapatkan kecepatan pada titik kedudukan

pitot tube. Tujuan dipasang pitot tube yaitu untuk mengetahui distribusi kecepatan tiap titik pada penampang pipa. Pitot tube yang digunakan yaitu jenis dua keluaran tekanan.



Gambar 3.5 Pitot tube

### 3.2.6 Pipa penyalur

Pipa ini terdiri dari pipa PVC dengan ukuran 1 ½ inci. Dimana pipa ini diinstalasi sesuai gambar rancangan yang telah disetujui oleh dosen pembimbing. Panjang keseluruhan pipa ini kurang lebih 7,5 meter.

## 3.3 KONDISI DALAM PENGUJIAN

Sebelum pengambilan data dilakukan fluida yang terdapat di dalam bak penampung diaduk terlebih dahulu. Tujuannya agar konsentrasi antara lumpur dan air bercampur. Pada saat pompa mulai dihidupkan semua katup dibuka penuh, tujuannya untuk menghindari tekanan yang terlalu tinggi menuju ke pipa uji, jika tekanan ini masuk ke pipa uji kemungkinan akan terjadi kerusakan pada pipa uji. Pada saat semua katup dalam keadaan terbuka penuh maka semua tekanan yang dihasilkan oleh pompa akan menuju kekatup by-pass sehingga tidak akan ada tekanan masuk ke pipa uji. Kemudian setelah kondisinya stabil maka penutupan katup by-pass dilakukan. Katup uatam dibuka penuh hal ini untuk mendapatkan penutupan by-pass yang paling maksimum sehingga fluida tidak keluar dari manometer.

## 3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Fluida yang berupa slurry ditempatkan pada tangki bawah kemudian dipompakan menggunakan pompa khusus yaitu pompa slurry sehingga fluida akan mengalir menuju pipa 1 ½ inch kemudian menuju ke tangki atas yang selanjutnya menuju pipa penyalur kemudian menuju pipa uji (pipa spiral lengkung dan pipa bulat lengkung) dimana kedua

manometer terdapat pada pipa spiral lengkung yang masing-masing terpasang pada jarak 5D dan 45D. Pitot tube juga terpasang pada pipa spiral lengkung dengan sudut kelengkungan  $45^\circ$ . Pitot tube tersebut dipasang pada bagian inner, outer dan top secara bergantian untuk mendapatkan perbedaan head yang selanjutnya akan diperoleh distribusi kecepatan tiap titik tersebut. Variasi kecepatan diperoleh dengan cara mengatur pembukaan pada valve utama dimana variasi yang digunakan adalah pembukaan dari  $0^\circ$  (valve menutup penuh) sampai dengan  $90^\circ$  (valve terbuka penuh) pembukaan ini berpatokan pada busur derajat yang terpasang pada valve utama. Variasi pembukaan valve adalah sebesar  $10^\circ$  dimulai dari pembukaan  $30^\circ$ . Hal ini untuk mendapatkan variasi data yang lebih banyak.

Konsentrasi lumpur dan pelarut dalam hal ini air murni juga mengalami variasi, dimana campuran yang digunakan adalah 50% lumpur dilarutkan dalam 50% air murni sehingga lumpur tersebut memiliki konsentrasi 50%. Variasi yang kedua yaitu 30% lumpur dicampur dengan 70% air, sehingga lumpur tersebut memiliki konsentrasi 30%. Temperatur diusahakan konstan pada temperature standar lingkungan yaitu  $27^\circ$ .

### 3.5 TAHAPAN PENGUJIAN

Tahap pengujian dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

#### A. Pengambilan data untuk perhitungan minor losses.

1. Masukkan fluida uji (lumpur) ke dalam bak penampungan, pastikan seberapa besar volume lumpur tersebut.
2. Tambahkan air sebagai pelarut sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan (pertama dengan konsentrasi 50%).
3. Aduk rata campuran antara lumpur dengan air sehingga campuran tersebut menjadi rata.
4. Hidupkan pompa, dengan semua katup dalam keadaan terbuka. Hal ini bertujuan untuk menstabilkan aliran pada saat pengambilan data.
5. Menutup perlahan katup by-pass sehingga didapat aliran maksimum pada pipa uji dengan cara memperhatikan ketinggian maksimum dari manometer.
6. Menutup katup utama sehingga aliran dalam pipa uji menjadi kosong.

7. Mulai membuka katup utama sebesar  $30^\circ$  dan membaca perbedaan ketinggian pada manometer pertama dan manometer kedua, kemudian pada pembuangan di pipa uji (pipa spiral lengkung) diukur debit alirannya dengan cara menampung fluida yang mengalir keluar dari pipa uji menggunakan gelas ukur dalam volume tertentu dalam satuan waktu. Kemudian timbang berat fluida tadi untuk mengetahui massa jenis dari fluida tersebut.
  8. Lakukan langkah ke-7 dengan pembukaan katup utama diperbesar  $10^\circ$  sampai dengan pembukaan penuh sebesar  $90^\circ$ . Catat semua hasil yang didapat untuk melakukan pengolahan data serta analisis hasil.
  9. Setelah semua data didapat, kemudian tambahkan air untuk mendapatkan konsentrasi lumpur variasi ke-2- yaitu sebesar 30%. Kemudian lakukan langkah ke-2 sampai ke-8.
  10. Pengujian dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan data yang benar dan berusaha agar penyimpangna sekecil mungkin.
  11. Lakukan pengujian yang sama untk pipa uji yang beda yaitu pipa bulat spiral.
- B. Pengambilan data untuk mencari distribusi kecepatan.
1. Pasang pitot tube pada sudut kelengkungan  $45^\circ$  bagian atas (top) pada pipa uji (pipa spiral lengkung).
  2. Hidupkan pompa sehingga lumpur dengan konsentrasi 50% mengalir ke pipa penampungan atas. Tutup katup by-pass, sehingga tekanan yang dihasilkan pompa bisa maksimum. Buka katup utana dengan sudut bukaan pada valve maksimum (sudut  $90^\circ$ ).
  3. Catat perbedaan ketinggian pada pitot tube (statik dan dinamik). Geser kedudukan pitot tube secara vertikal semakin ke atas dengan jarak perpindahan sebesar 5 mm, hingga ke dinding teratas dalam pipa. Catat perbedaan ketinggian tiap perubahan kedudukan pitot tube tersebut.
  4. Lepas pitot tube, pasang kembali dari arah Inner (lengkungan dalam). Catat perbedaan ketinggian pada pitot tube . Geser kedudukan pitot tube secara

horizontal mulai dari inner hingga ke outer dengan jarak perpindahan sebesar 5 mm. Catat juga perbedaan ketinggian tiap perubahan kedudukan tersebut.

5. Lakukan langkah no.4 untuk pemasangan dari arah outer.
6. Ulangi langkah ke1 sampai ke-6 untuk konsentrasi lumpur 30%.
7. Setelah semua selesai, rapikan peralatan yang digunakan dan tutup semua katup agar tidak ada padatan yang masuk ke dalam pipa penyalur untuk menghindari pengendapan.



## BAB IV

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

#### 4.1 PERHITUNGAN DATA

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan data mentah berupa perbedaan tekanan manometer ( $\Delta h$ ), debit aliran dari variasi pembukaan katup utama dan konsentrasi campuran antara padatan dengan pelarut. Massa jenis campuran diketahui dengan cara mengukur berat dari fluida tersebut berdasarkan jumlah volume dari fluida tersebut berdasarkan jumlah volume dari fluida tersebut, sedangkan kecepatan aliran didapat dengan menampung fluida yang keluar dari pipa uji dengan gelas ukur dibagi pengukuran waktu yang dibutuhkan oleh stopwatch untuk dapat mencapai volume tertentu.

Dalam pengambilan data terdapat beberapa variasi konsentrasi kepadatan ( $C_w$ ) adapun persamaan untuk menentukan konsentrasi kepadatan adalah sebagai berikut :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana :

$C_w$  = persentasi berat padatan

$C_v$  = persentasi volume padatan

$\rho_s$  = densitas padatan

$\rho_m$  = densitas campuran

Apabila massa jenis dari padatan tidak diketahui maka dapat digunakan perbandingan volume dari fluida yang akan digunakan :

$$\frac{\text{volume lumpur}}{\text{volume lumpur} + \text{volume air}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.2)$$

Percobaan pada penelitian ini menggunakan dua variasi padatan yaitu 30% dan 50%.



Untuk mendapatkan padatan 30%, campuran yang digunakan adalah 15 liter lumpur ditambahkan 30 liter pelarut, dari perhitungan yang ada maka didapatkan konsentrasi padatan (Cw) 30% :

$$\frac{15}{30+15} \times 100\%$$

Untuk mendapatkan konsentrasi 50% maka jumlah lumpur yang digunakan cukup banyak dengan tujuan agar volume campuran di bak penampung melebihi saluran isap pompa. Maka perhitungan yang digunakan pada konsentrasi ini adalah :

$$\frac{30}{30+30} \times 100\%$$

#### 4.1.1 Konsentrasi Padatan 50%

Pada konsentrasi padatan 50% ini dilakukan pada 4 buah pipa lengkung dimana 2 buah pipa spiral dengan P/D = 6,7 dan P/D = 4,3 dan 2 buah pipa lengkung circular dengan D = 24,6 mm dan 31,3 mm.

Tabel 4.1 Data hasil penelitian pada pipa spiral P/D = 4,3

L :	1000	mm	P/Do :	4.3
Do :	0.042413	m	R/a :	12
A :	0.0014121	m <sup>2</sup>	θ :	180

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	Δ h (mm)	t (s)
90	519	500	19	8.45
80	396	380	16	10.24
70	399	385	14	12.26
60	352	340	12	14.66
50	391	380	11	16.35
40	265	255	10	18.4

30	160	152	8	24
----	-----	-----	---	----

Data di atas merupakan data hasil percobaan di laboratorium. Debit aliran dibuat konstan yaitu sebesar 3 liter atau  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Untuk mendapatkan debit alirannya maka volume tadi dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk memenuhi volume tersebut. Dari debit aliran ini akan didapatkan kecepatan fluida yang keluar dari pipa uji. Massa jenis campuran dapat dihitung dengan cara menimbang massa dari campuran tersebut kemudian membaginya dengan volume campuran tadi. Pada konsentrasi ini didapat massa jenis sekitar  $1236 \text{ kg/m}^3$ . Nilai  $\Delta P$  didapat dari perbedaan head pada manometer, setelah diolah maka data dapat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil perhitungan debit,  $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan

$\Delta P$ (pa)	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)
230.44	0.000355	0.001412	0.251
194.055	0.000293	0.001412	0.207
169.798	0.000245	0.001412	0.173
145.541	0.000205	0.001412	0.145
133.413	0.000183	0.001412	0.130
121.284	0.000163	0.001412	0.115
97.0274	0.000125	0.001412	0.089

Dari data di atas terlihat debit aliran semakin besar, seiring dengan semakin besarnya penutupan pada katup utama, oleh karena itu kecepatan aliran juga semakin besar. Dari data yang tersedia dengan rumus-rumus yang terdapat pada landasan teori dapat dicari tegangan geser serta gradient kecepatan dari konsentrasi fluida ini.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan tegangan geser dan gradient kecepatan

$\tau$ (pa)	du/dy (1/s)
-------------	-------------

2.4434147	47.400234
2.0576124	39.114451
1.8004109	32.669818
1.5432093	27.321417
1.4146085	24.497368
1.2860078	21.768042
1.0288062	16.688832

Dengan mengetahui nilai shear stress dan shear rate, maka nilai power law index dapat dicari menggunakan bantuan rumus log maupun menggunakan rumus-rumus pada dasar teori. Setelah dihitung, nilai power law index untuk campuran ini adalah 0.92 sehingga campuran ini termasuk fluida Non-Newtonian dan lebih spesifiknya lagi merupakan fluida pseudo plastis.

Pada umumnya kekentalan fluida Non-Newtonian sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, tetapi jika aliran kecepatan lambat maka konsentrasi padatan akan menentukan seberapa besar kekentalan (viscosity) dari fluida tersebut, dari nilai yang sudah diketahui di atas maka kekentalan sesaat (apparent viscosity) dari fluida dapat diketahui.

Tabel 4.4 Apparent viscosity padatan 50%

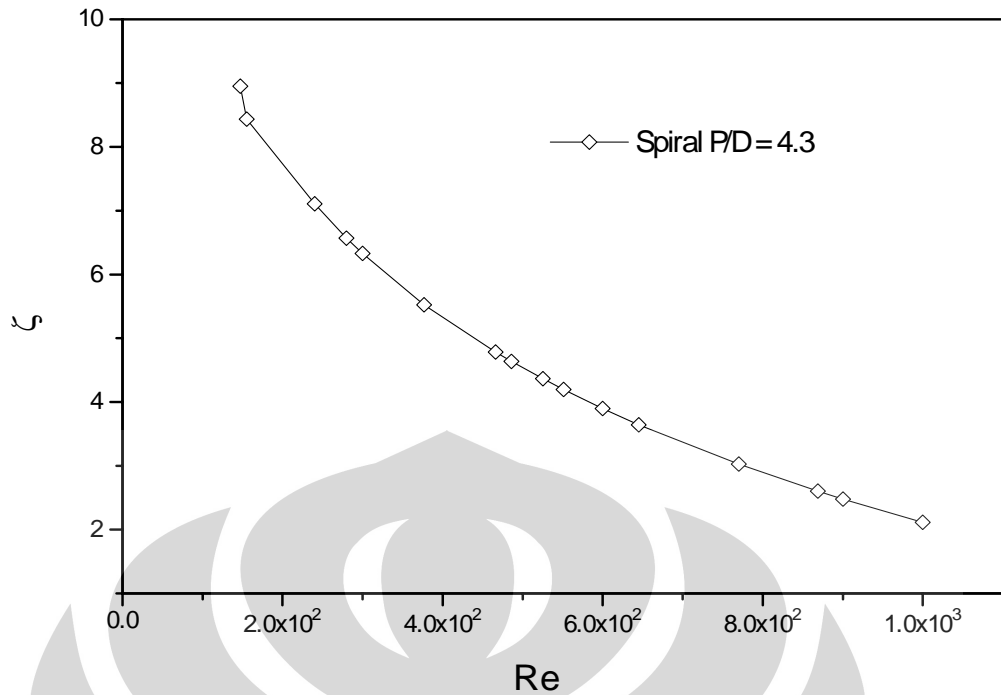
$du/dy$ (1/s)	$\mu$
47.40023	0.0515
39.11445	0.0526
32.66982	0.0551
27.32142	0.0565
24.49737	0.0577
21.76804	0.0591
16.68883	0.0616

Setelah itu, dengan menggunakan bantuan rumus-rumus untuk mencari kerugian jatuh tekanan (minor losses), didapatkan hasil perhitungna minor losses sebagai berikut:

Tabel 4.5 Minor Losses

Re	$\xi$
1.00E+03	2.1129
9.00E+02	2.4816
8.69E+02	2.6043
7.70E+02	3.0276
6.45E+02	3.6454
6.00E+02	3.8990
5.51E+02	4.1978
5.25E+02	4.3650
4.86E+02	4.6357
4.66E+02	4.7829
3.77E+02	5.5255
3.00E+02	6.3268
2.80E+02	6.5682
2.40E+02	7.1078
1.55E+02	8.4334
1.47E+02	8.9527

Dari data di atas, kemudian dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.1. Minor Loses pada spiral P/D = 4.3 dengan konsentrasi 50%

Pada pipa bulat lengkung juga dilakukan perhitungan-perhitungan sama seperti di atas.

Tabel 4.6 Data hasil penelitian pipa bulat lengkung dengan D = 31,3 mm dan L = 9100 mm

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	Δ h (mm)	t (s)
90	470	445	25	9.34
80	480	460	20	12.1
70	458	440	18	13.7
60	485	470	15	16.53
50	470	456	14	18.12
40	380	367	13	19.88
30	77	65	12	22.24

Data di atas merupakan data hasil percobaan di laboratorium. Debit aliran dibuat konstan yaitu sebesar 3 liter atau  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Untuk mendapatkan debit alirannya maka volume tadi dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk memenuhi volume tersebut. Dari debit aliran ini akan didapatkan kecepatan fluida yang keluar dari pipa

uji. Massa jenis campuran dapat dihitung dengan cara menimbang massa dari campuran tersebut kemudian membaginya dengan volume campuran tadi. Pada konsentrasi ini didapat massa jenis sekitar  $1236 \text{ kg/m}^3$ . Nilai  $\Delta P$  didapat dari perbedaan head pada manometer, setelah diolah maka data dapat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil perhitungan debit,  $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	$\Delta P$ (pa)
0.0003212	0.000769057	0.418	303.211
0.00024793	0.000769057	0.322	242.569
0.00021898	0.000769057	0.285	218.312
0.00018149	0.000769057	0.236	181.926
0.00016556	0.000769057	0.215	169.798
0.00015091	0.000769057	0.196	157.670
0.00013489	0.000769057	0.175	145.541

Dari data di atas terlihat debit aliran semakin besar, seiring dengan semakin besarnya penutupan pada katup utama, oleh karena itu kecepatan aliran juga semakin besar. Dari data yang tersedia dengan rumus-rumus yang terdapat pada landasan teori dapat dicari tegangan geser serta gradient kecepatan dari konsentrasi fluida ini.

Tabel 4.8 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau$ (pa)	$du/dy$ (1/s)
2.6072793	106.69751
2.0858234	82.359895
1.8772411	72.741221
1.5643676	60.287643
1.4600764	54.997502

1.3557852	50.128508
1.251494	44.809116

Dengan mengetahui nilai shear stress dan shear rate, maka nilai power law index dapat dicari menggunakan bantuan rumus log maupun menggunakan rumus-rumus pada dasar teori. Setelah dihitung, nilai power law index untuk campuran ini adalah 0.92 sehingga campuran ini termasuk fluida Non-Newtonian dan lebih spesifiknya lagi merupakan fluida pseudo plastis.

Pada umumnya kekentalan fluida Non-Newtonian sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, tetapi jika aliran kecepatan lambat maka konsentrasi padatan akan menentukan seberapa besar kekentalan (viscosity) dari fluida tersebut, dari nilai yang sudah diketahui di atas maka kekentalan sesaat (apparent viscosity) dari fluida dapat diketahui.

Tabel 4.9 Apparent viscosity padatan 50%

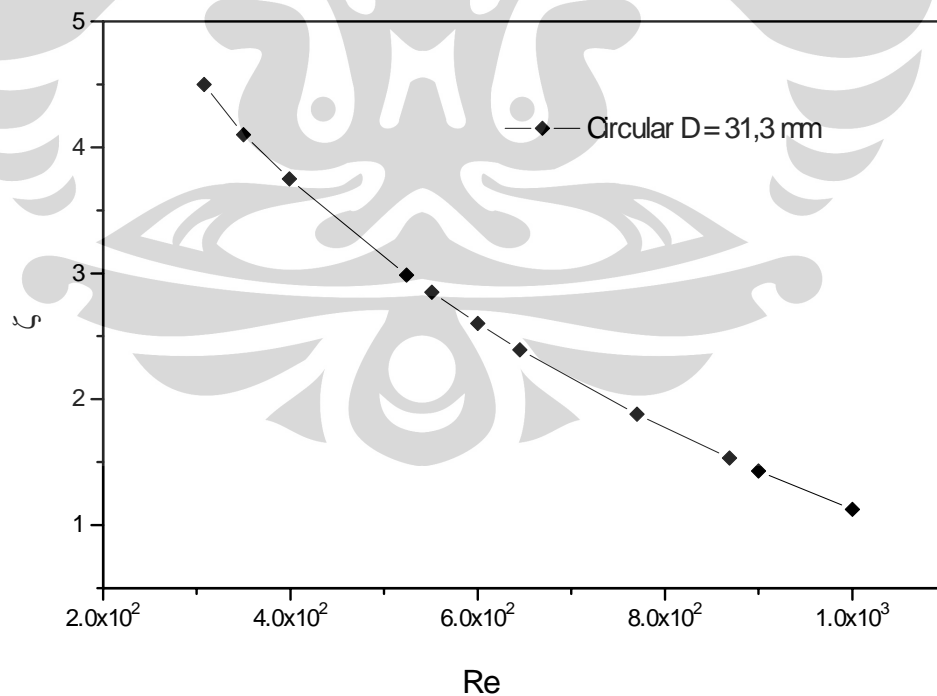
$du/dy$ (1/s)	$\mu$
106.69751	0.0213
82.359895	0.0220
72.741221	0.0224
60.287643	0.0226
54.997502	0.0231
50.128508	0.0235
44.809116	0.0243

Setelah itu, dengan menggunakan bantuan rumus-rumus untuk mencari kerugian jatuh tekanan (minor losses), didapatkan hasil perhitungna minor losses sebagai berikut:

Tabel 4.10 Minor Losses

Re	$\xi$
1.00E+03	1.126587
9.00E+02	1.431079
8.69E+02	1.532378
7.70E+02	1.881931
6.45E+02	2.392044
6.00E+02	2.601448
5.51E+02	2.848185
5.24E+02	2.986232
3.99E+02	3.7500
3.50E+02	4.1000
3.08E+02	4.5000

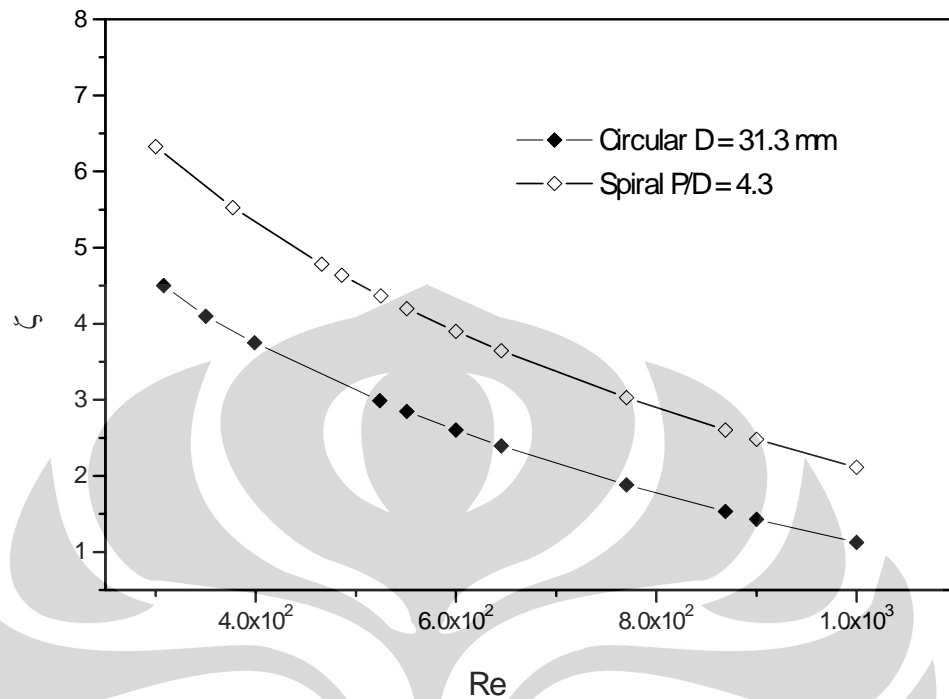
Dari data di atas, kemudian dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.2. Minor Loses pada circular D = 31.3 mm dengan konsentrasi 50%



Setelah itu dibandingkan nilai minor losses antara pipa spiral P/D = 4,3 dengan pipa bulat D= 31,3 mm. Grafik perbandingannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3. Perbandingan Minor Loses spiral P/D = 4.3 dan circular D = 31.3 mm pada konsentrasi 50%

Pada pipa spiral lengkung P/Do = 6,7 juga dilakukan pengolahan data yang sama dengan di atas, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.11 Data hasil penelitian pipa spiral lengkung P/Do = 6,7

L :	1000	mm	P/Do :	6.7
Do :	0.02722	m	R/a :	12
A :	0.00058	m <sup>2</sup>	θ :	180

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	Δh (mm)	t (s)
90	474	445	29	11.5
80	480	453	27	12.6
70	490	465	25	13.8
60	485	463	22	15.96
50	475	455	20	17.64

40	355	337	18	20.01
30	226	210	16	23

Data di atas merupakan data hasil percobaan di laboratorium. Debit aliran dibuat konstan yaitu sebesar 3 liter atau  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Untuk mendapatkan debit alirannya maka volume tadi dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk memenuhi volume tersebut. Dari debit aliran ini akan didapatkan kecepatan fluida yang keluar dari pipa uji. Massa jenis campuran dapat dihitung dengan cara menimbang massa dari campuran tersebut kemudian membaginya dengan volume campuran tadi. Pada konsentrasi ini didapat massa jenis sekitar  $1236 \text{ kg/m}^3$ . Nilai  $\Delta P$  didapat dari perbedaan head pada manometer, setelah diolah maka data dapat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4.12 Hasil perhitungan debit,  $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	$\Delta P$ (pa)
0.00026087	0.000581629	0.449	351.724
0.0002381	0.000581629	0.409	327.468
0.00021739	0.000581629	0.374	303.211
0.00018797	0.000581629	0.323	266.825
0.00017007	0.000581629	0.292	242.569
0.00014993	0.000581629	0.258	218.312
0.00013043	0.000581629	0.224	194.055

Dari data di atas terlihat debit aliran semakin besar, seiring dengan semakin besarnya penutupan pada katup utama, oleh karena itu kecepatan aliran juga semakin besar. Dari data yang tersedia dengan rumus-rumus yang terdapat pada landasan teori dapat dicari tegangan geser serta gradient kecepatan dari konsentrasi fluida ini.

Tabel 4.13 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau$ (pa)	du/dy (1/s)
2.393485	131.75647
2.2284171	120.25393
2.0633492	109.79706
1.8157473	94.937309
1.6506793	85.895661
1.4856114	75.722112
1.3205435	65.878237

Dengan mengetahui nilai shear stress dan shear rate, maka nilai power law index dapat dicari menggunakan bantuan rumus log maupun menggunakan rumus-rumus pada dasar teori. Setelah dihitung, nilai power law index untuk campuran ini adalah 0.92 sehingga campuran ini termasuk fluida Non-Newtonian dan lebih spesifiknya lagi merupakan fluida pseudo plastis.

Pada umumnya kekentalan fluida Non-Newtonian sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, tetapi jika aliran kecepatan lambat maka konsentrasi padatan akan menentukan seberapa besar kekentalan (viscosity) dari fluida tersebut, dari nilai yang sudah diketahui di atas maka kekentalan sesaat (apparent viscosity) dari fluida dapat diketahui.

Tabel 4.14 Apparent viscosity padatan 50%

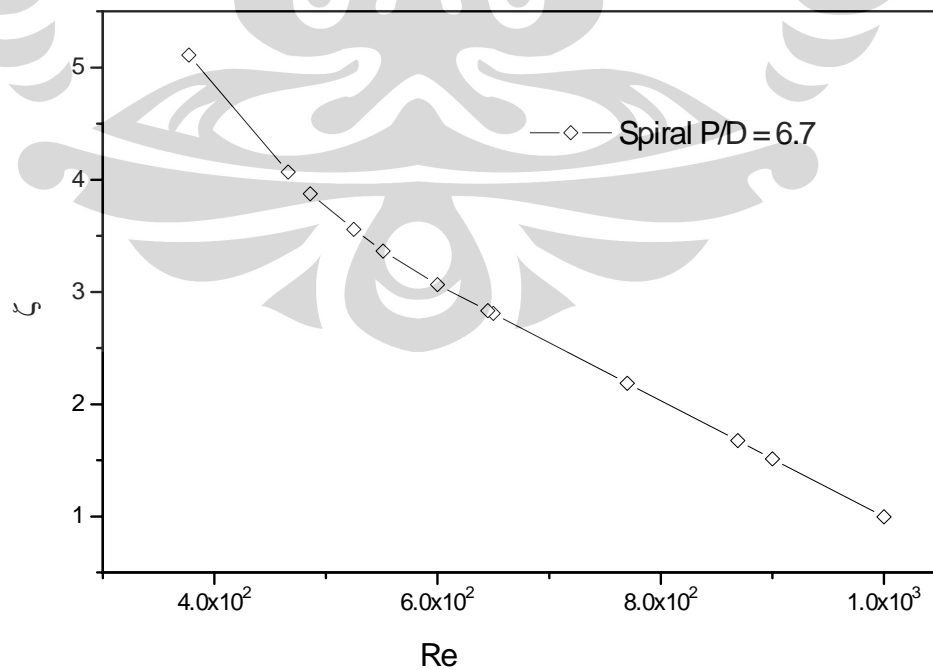
du/dy (1/s)	$\mu$
131.756	0.0182
120.254	0.0185
109.797	0.0188
94.9373	0.0191
85.8957	0.0192
75.7221	0.0196
65.8782	0.0200

Setelah itu, dengan menggunakan bantuan rumus-rumus untuk mencari kerugian jatuh tekanan (minor losses), didapatkan hasil perhitungna minor losses sebagai berikut:

Tabel 4.15 Minor Losses

Re	$\xi$
1.00E+03	0.996
9.00E+02	1.5135
8.69E+02	1.6739
7.70E+02	2.1863
6.50E+02	2.8073
6.45E+02	2.8311
6.00E+02	3.0646
5.51E+02	3.3633
5.25E+02	3.5572
4.86E+02	3.8746
4.66E+02	4.0692
3.77E+02	5.1099

Dari data di atas, kemudian dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.4. Minor Loses spiral  $P/D = 6.7$  pada konsentrasi 50%

Pada pipa bulat lengkung dengan  $D = 24,6$  mm juga dilakukan pengolahan data seperti pada di atas, sehingga didapatkan:

Tabel 4.16 Data hasil penelitian pipa bulat lengkung dengan  $D = 24,6$  mm dan  $L = 880$  mm

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	$\Delta h$ (mm)	t (s)
90	512	467	45	13.6
80	496	460	36	17.12
70	489	459	30	20.74
60	497	469	28	22.32
50	500	476	24	26.34
40	389	367	22	29.17
30	145	125	20	32.37

Data di atas merupakan data hasil percobaan di laboratorium. Debit aliran dibuat konstan yaitu sebesar 3 liter atau  $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Untuk mendapatkan debit alirannya maka volume tadi dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk memenuhi volume tersebut. Dari debit aliran ini akan didapatkan kecepatan fluida yang keluar dari pipa uji. Massa jenis campuran dapat dihitung dengan cara menimbang massa dari campuran tersebut kemudian membaginya dengan volume campuran tadi. Pada konsentrasi ini didapat massa jenis sekitar  $1236 \text{ kg/m}^3$ . Nilai  $\Delta P$  didapat dari perbedaan head pada manometer, setelah diolah maka data dapat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4.17 Hasil perhitungan debit,  $\Delta P$ , luas penampang dan kecepatan

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	$\Delta P$ (pa)
0.00022059	0.000475051	0.464	545.779
0.00017523	0.000475051	0.369	436.623
0.00014465	0.000475051	0.304	363.853
0.00013441	0.000475051	0.283	339.596

0.0001139	0.000475051	0.240	291.082
0.00010285	0.000475051	0.216	266.825
9.2678E-05	0.000475051	0.195	242.569

Dari data di atas terlihat debit aliran semakin besar, seiring dengan semakin besarnya penutupan pada katup utama, oleh karena itu kecepatan aliran juga semakin besar. Dari data yang tersedia dengan rumus-rumus yang terdapat pada landasan teori dapat dicari tegangan geser serta gradient kecepatan dari konsentrasi fluida ini.

Tabel 4.18 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau(\text{pa})$	$du/dy (1/\text{s})$
3.8142534	150.93499
3.0514027	119.90163
2.5428356	98.973766
2.3733132	91.967559
2.0342685	77.931507
1.8647461	70.370789
1.6952237	63.414146

Dengan mengetahui nilai shear stress dan shear rate, maka nilai power law index dapat dicari menggunakan bantuan rumus log maupun menggunakan rumus-rumus pada dasar teori. Setelah dihitung, nilai power law index untuk campuran ini adalah 0.92 sehingga campuran ini termasuk fluida Non-Newtonian dan lebih spesifiknya lagi merupakan fluida pseudo plastis.

Pada umumnya kekentalan fluida Non-Newtonian sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, tetapi jika aliran kecepatan lambat maka konsentrasi padatan akan menentukan seberapa besar kekentalan (viscosity) dari fluida tersebut, dari nilai yang sudah diketahui di atas maka kekentalan sesaat (apparent viscosity) dari fluida dapat diketahui.

Tabel 4.19 Apparent viscosity padatan 50%

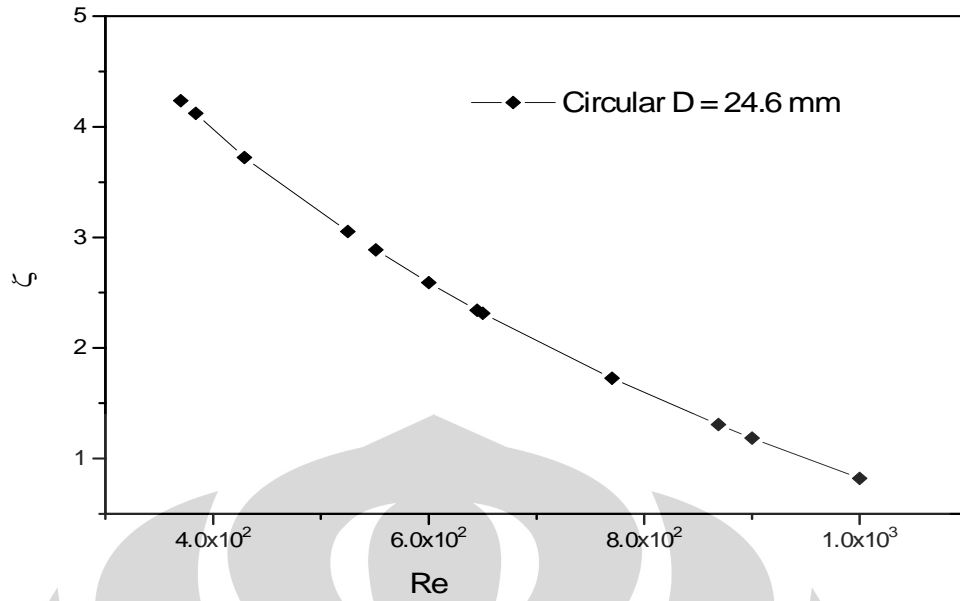
$du/dy$ (1/s)	$\mu$
150.93499	0.0253
119.90163	0.0254
98.973766	0.0257
91.967559	0.0258
77.931507	0.0261
70.370789	0.0265
63.414146	0.0267

Setelah itu, dengan menggunakan bantuan rumus-rumus untuk mencari kerugian jatuh tekanan (minor losses), didapatkan hasil perhitungna minor losses sebagai berikut:

Tabel 4.20 Minor Losses

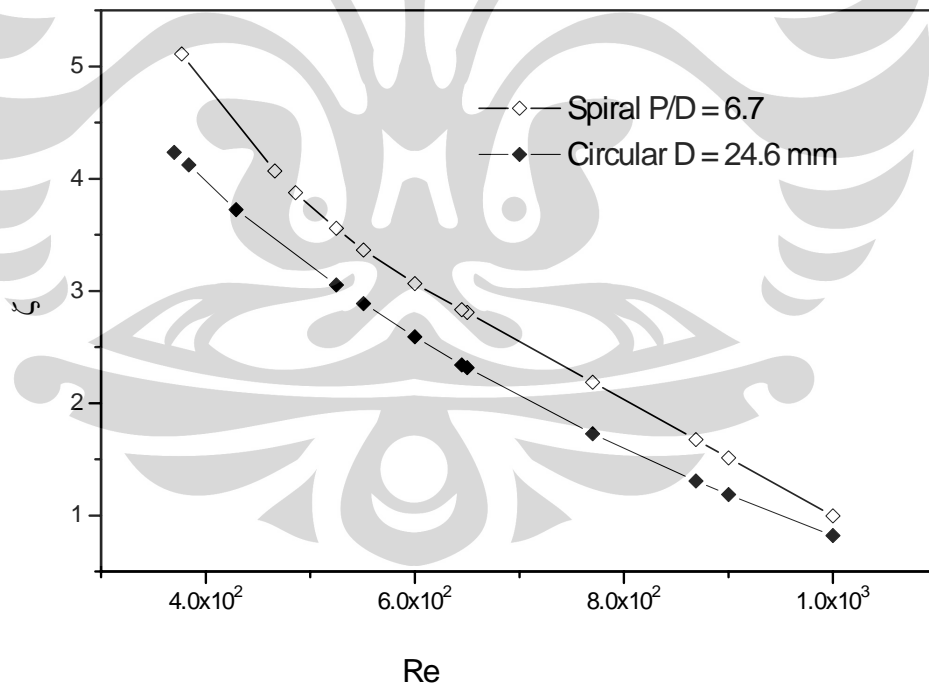
Re	$\xi$
1.00E+03	0.8201
9.00E+02	1.1857
8.69E+02	1.3073
7.70E+02	1.727
6.50E+02	2.3149
6.45E+02	2.3395
6.00E+02	2.5909
5.51E+02	2.8872
5.25E+02	3.053
4.29E+02	3.7230
3.84E+02	4.1230
3.70E+02	4.2350

Dari data di atas, kemudian dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.5. Minor Loses Circular D = 24.6 mm pada konsentrasi 50%

Setelah itu dibandingkan nilai minor losses antara pipa spiral P/Do = 6,7 dengan pipa bulat D= 24,6 mm. Grafik perbandingannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6. Perbandingan Minor Loses spiral P/D = 6.7 dan circular D = 24.6 mm pada konsentrasi 50%

#### 4.1.2 Konsentrasi Padatan 30%



Pada konsentrasi padatan 30% ini dilakukan pada 4 buah pipa lengkung dimana 2 buah pipa spiral dengan  $P/D = 6,7$  dan  $P/D = 4,3$  dan 2 buah pipa lengkung circular dengan  $D = 24,6$  mm dan  $31,3$  mm.

Pada konsentrasi 30 %, dilakukan pengolahan data yang sama persis dengan konsentrasi 50%. Hanya saja sedikit perbedaan pada massa jenis dari campuran, yaitu sekitar  $1188 \text{ kg/m}^3$

Tabel 4.21 Data dari percobaan dengan pipa spiral  $P/Do = 4,3$

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	$\Delta h$ (mm)	t (s)
90	588	570	18	8.27
80	544	527	17	8.76
70	497	480	17	8.77
60	459	443	16	9.31
50	421	406	15	9.93
40	312	298	14	10.64
30	200	188	12	12.41

Tabel 4.22 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan  $\Delta P$

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	$\Delta P$ (pa)
0.000363	0.001412	0.257	218.312
0.000342	0.001412	0.243	206.183
0.000342	0.001412	0.242	206.183
0.000322	0.001412	0.228	194.055
0.000302	0.001412	0.214	181.926
0.000282	0.001412	0.200	169.798
0.000242	0.001412	0.171	145.541

Tabel 4.23 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau$ (pa)	du/dy (1/s)
2.314814	48.43192
2.186213	45.722828
2.186213	45.670693
2.057612	43.021694
1.929012	40.335546
1.800411	37.643983
1.543209	32.274938

Tabel 4.24 Apparent Viscosity

du/dy (1/s)	$\mu$
48.43192	0.04780
45.72283	0.04781
45.67069	0.04783
43.02169	0.04783
40.33555	0.04782
37.64398	0.04783
32.27494	0.04781

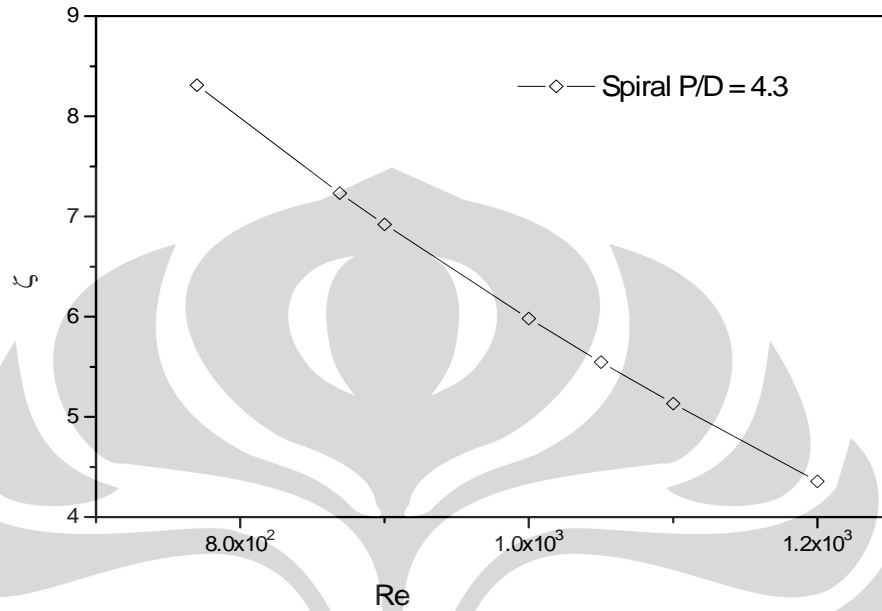
Dari data di atas, terlihat bahwa apparent viscositasnya tidak mengalami perubahan yang berarti sehingga untuk campuran 30% ini cenderung mengikuti jenis fluida Newtonian, dengan  $n = 1$ .

Tabel 4.25 Minor Losses

Re	$\xi$
1.20E+03	4.3574
1.10E+03	5.1327
1.05E+03	5.5472
1.00E+03	5.9819
9.00E+02	6.9207

8.69E+02	7.2330
7.70E+02	8.3107

Grafik Minor lossesnya sebagai berikut:



Gambar 4.7. Minor Loses spiral P/D = 4.3 pada konsentrasi 30%

Pengolahan data untuk pipa bulat lengkung D = 31,3 mm

Tabel 4.26 Data dari percobaan dengan pipa bulat lengkung D = 31,3 mm

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	Δ h (mm)	t (s)
90	606	590	16	8.54
80	613	598	15	9.11
70	609	595	14	9.77
60	532	519	13	10.52
50	403	391	12	11.4
40	164	153	11	12.43
30	134	125	9	15.2

Tabel 4.27 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan ΔP

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	ΔP (pa)
0.000351	0.000769	0.457	194.055
0.000329	0.000769	0.428	181.926
0.000307	0.000769	0.399	169.798
0.000285	0.000769	0.371	157.670
0.000263	0.000769	0.342	145.541
0.000241	0.000769	0.314	133.413
0.000197	0.000769	0.257	109.156

Tabel 4.28 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau$ (pa)	du/dy (1/s)
1.668659	116.69259
1.564368	109.3913
1.460076	102.00151
1.355785	94.729537
1.251494	87.417082
1.147203	80.173349
0.938621	65.562811

Tabel 4.29 Apparent Viscosity

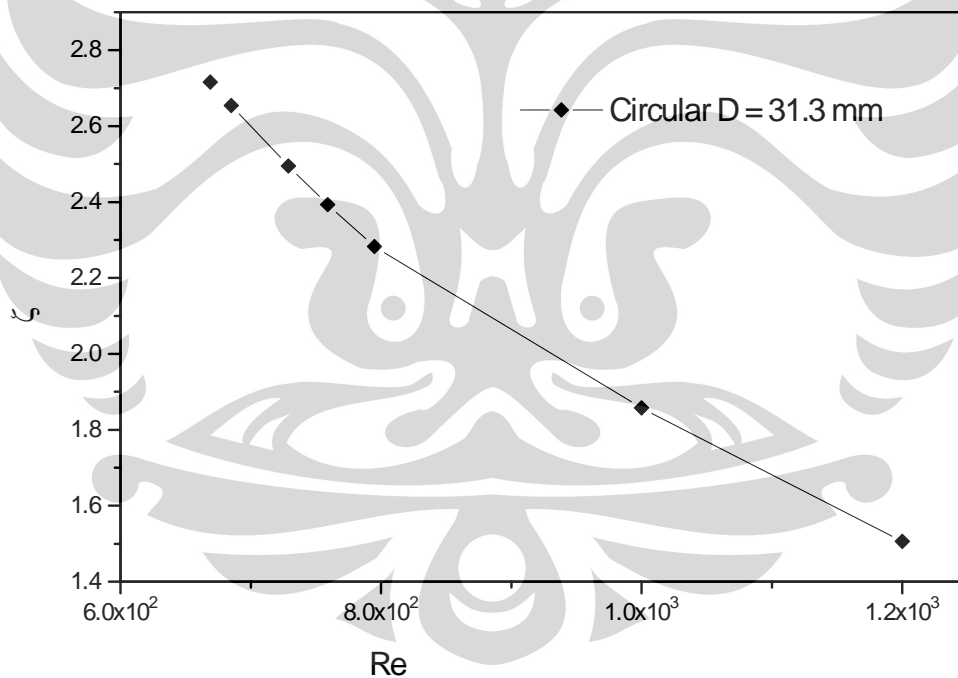
du/dy (1/s)	$\mu$
116.6926	0.01430
109.3913	0.01430
102.0015	0.01431
94.72954	0.01431
87.41708	0.01432

80.17335	0.01431
65.56281	0.01432

Tabel 4.30 Minor Losses

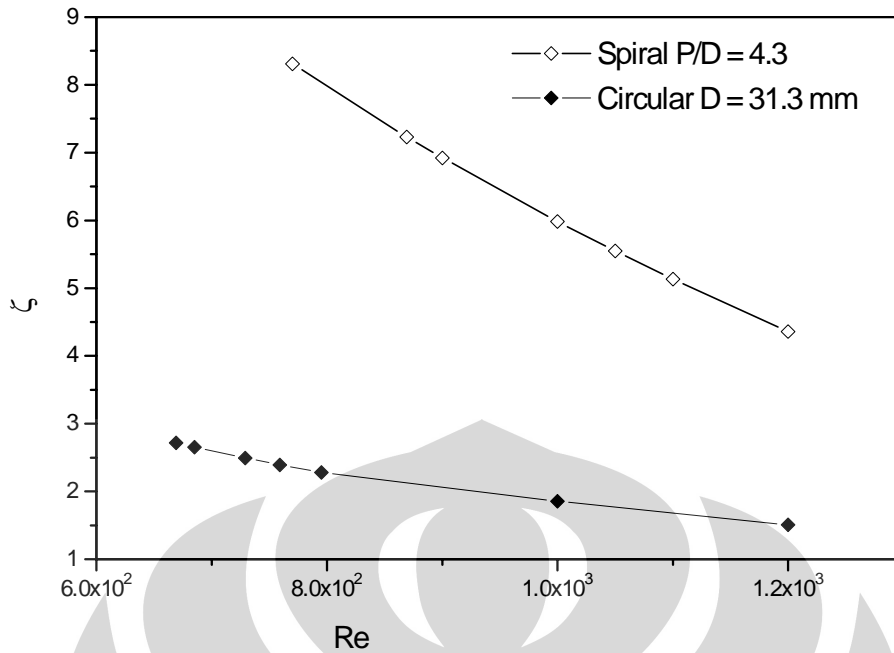
Re	$\xi_t$
1.20E+03	1.5060
7.95E+02	2.2832
7.59E+02	2.3938
7.29E+02	2.4945
6.85E+02	2.6541
6.69E+02	2.7158

Kemudian dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.8. Minor Losses circular D = 31.3 mm pada konsentrasi 30%

Membandingkan minor losses pada pipa spiral  $P/Do = 4,3$  dengan pipa bulat  $D = 31,3$  mm



Gambar 4.9. Perbandingan Minor Loses spiral P/D = 4.3 dan circular D = 31.3 mm pada konsentrasi 30%

Pengolahan data pada pipa spiral lengkung P/D = 6,7

Tabel 4.31 Data dari percobaan dengan pipa spiral lengkung P/D = 6,7

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	$\Delta h$ (mm)	t (s)
90	574	550	24	11.9
80	595	574	21	13.61
70	625	608	17	16.81
60	625	610	15	19.06
50	577	563	14	20.45
40	482	469	13	22.01
30	297	285	12	23.88

Tabel 4.32 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan  $\Delta P$

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	$\Delta P$ (pa)
0.000252	0.000582	0.433	291.082

0.00022	0.000582	0.379	254.697
0.000178	0.000582	0.307	206.183
0.000157	0.000582	0.271	181.926
0.000147	0.000582	0.252	169.798
0.000136	0.000582	0.234	157.670
0.000126	0.000582	0.216	145.541

Tabel 4.33 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau$ (pa)	du/dy (1/s)
1.980815	127.32769
1.733213	111.32986
1.403077	90.136791
1.238009	79.496299
1.155476	74.092883
1.072942	68.841411
0.990408	63.450564

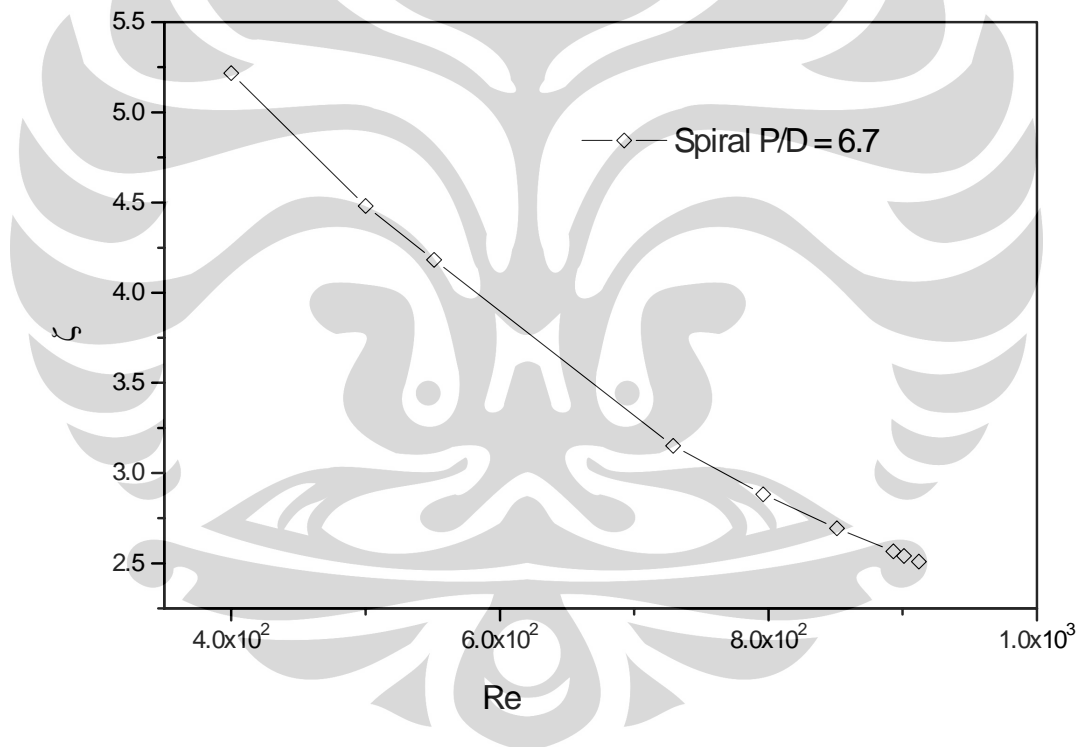
Tabel 4.34 Apparent viscosity

du/dy (1/s)	$\mu$
127.3277	0.01556
111.3299	0.01557
90.13679	0.01557
79.4963	0.01557
74.09288	0.01559
68.84141	0.01559
63.45056	0.01561

Tabel 4.35 Minor Losses

Re	$\xi$
9.12E+02	2.5088
9.01E+02	2.5398
8.93E+02	2.5662
8.51E+02	2.6947
7.96E+02	2.8822
7.29E+02	3.1513
5.51E+02	4.1814
5.00E+02	4.48179
4.00E+02	5.21817

Grafik minor losses:



Gambar 4.10. Minor Loses spiral P/D = 6.7 pada konsentrasi 30%

Pipa bulat lengkung D = 24,6 mm juga dilakukan pengolahan da sebagai berikut:

Tabel 4.36 Data dari percobaan dengan bulat lengkung D = 24,6 mm

Bukaan katup	h1 (mm)	h2 (mm)	$\Delta h$ (mm)	t (s)
90	610	560	50	10.3



80	596	553	43	11.98
70	585	545	40	12.88
60	584	546	38	13.56
50	533	497	36	14.31
40	451	419	32	16.1
30	252	224	28	18.4

Tabel 4.37 Perhitungan Debit, luas penampang, kecepatan dan  $\Delta P$

Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	u (m/s)	$\Delta P$ (pa)
0.000291	0.000475	0.613	606.422
0.00025	0.000475	0.527	521.522
0.000233	0.000475	0.490	485.137
0.000221	0.000475	0.466	460.880
0.00021	0.000475	0.441	436.623
0.000186	0.000475	0.392	388.110
0.000163	0.000475	0.343	339.596

Tabel 4.38 Gradient kecepatan dan tegangan geser

$\tau$ (pa)	du/dy (1/s)
4.238059	199.29281
3.644731	171.34523
3.390447	159.37235
3.220925	151.38023
3.051403	143.44625
2.712358	127.49788
2.373313	111.56065

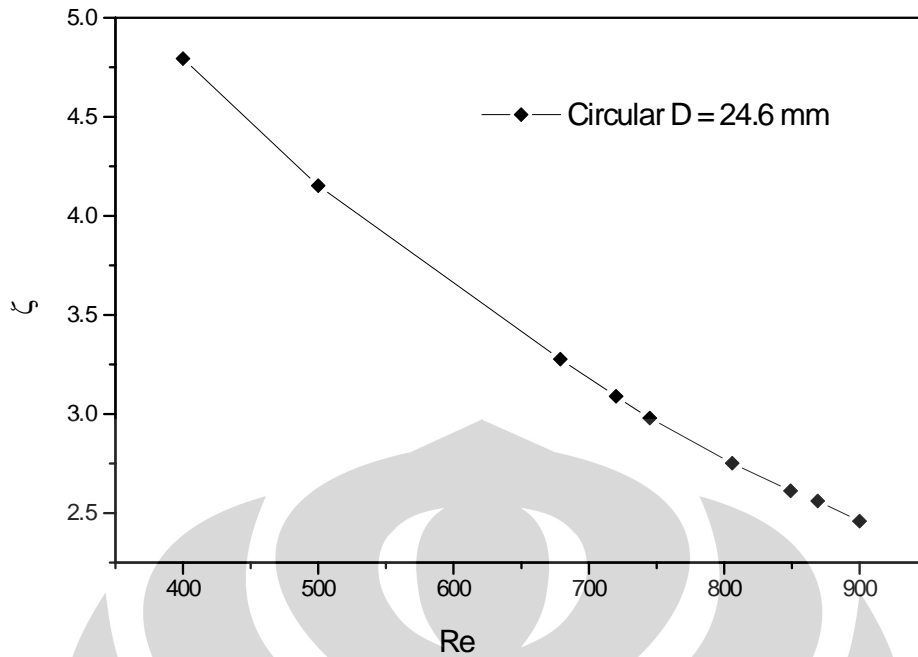
Tabel 4.39 Apparent viscosity

$du/dy$ (1/s)	$\mu$
199.2928	0.02127
171.3452	0.02127
159.3724	0.02127
151.3802	0.02128
143.4463	0.02127
127.4979	0.02127
111.5606	0.02127

Tabel 4.40 Minor Losses

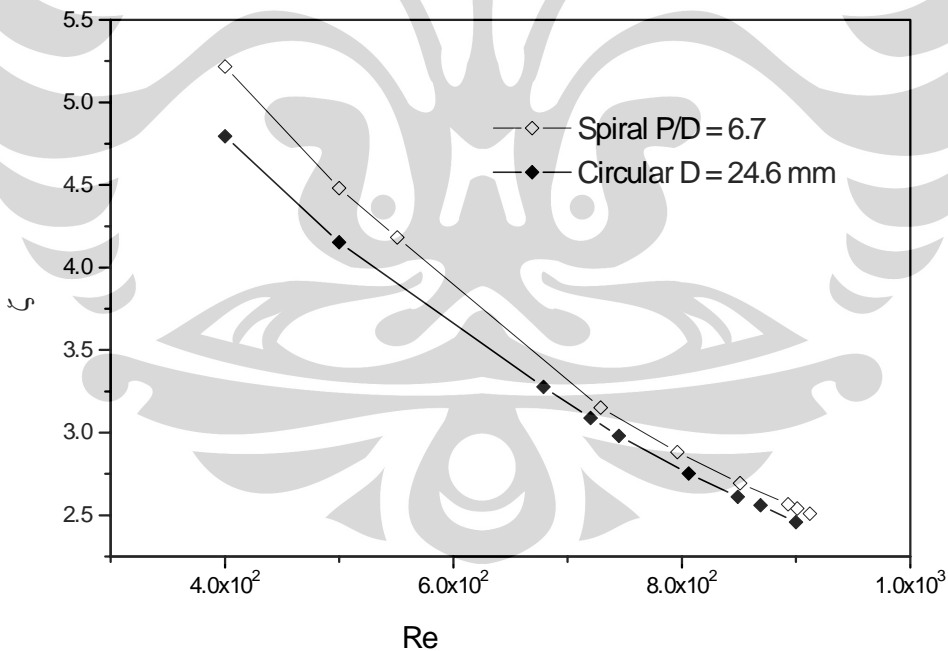
Re	$\xi$
9.00E+02	2.4591
8.69E+02	2.56005
8.49E+02	2.6121
8.06E+02	2.7519
7.45E+02	2.9800
7.20E+02	3.0889
6.79E+02	3.2767
5.00E+02	4.15193
4.00E+02	4.79458

Grafik minor losses adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11. Minor Loses circular D = 24.6 mm pada konsentrasi 30%

Plot grafik minor losses pipa spiral P/D = 0,67 dan pipa bulat D = 2,46 mm

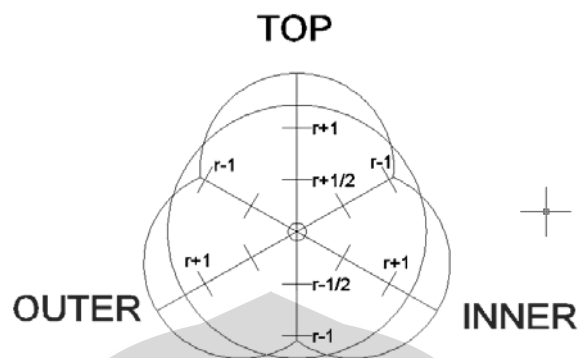


Gambar 4.12. Perbandingan Minor Loses spiral P/D = 6.7 dan circular D = 24.6 mm pada konsentrasi 30%

#### 4.2 DISTRIBUSI KECEPATAN

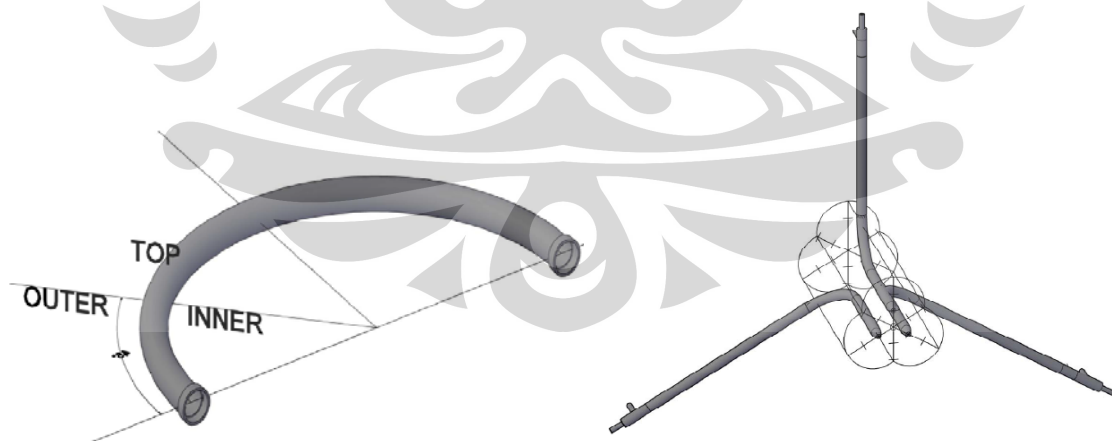
Pengukuran kecepatan pada penelitian ini menggunakan pitot tube dimana pitot tube ini digunakan untuk menentukan distribusi kecepatan pada titik tertentu dengan selisih

jarak kenaikan ataupun penurunan jarak didapatkan kecepatan yang berbeda sehingga akan membuat pola /layer aliran kecepatan.



Gambar.4.13. Pengukuran selisih jarak pada pitot tube

Pada pengukuran ini dengan menggunakan pitot tube dilakukan dengan selisih jarak 5 mm karena bentuk penampang pitot tube yang besar membuat jarak selisih yang ideal yaitu 1 -2 mm tidak tercapai. Pada jarak ideal tersebut dimana layer distribusi kecepatan akan terbentuk dengan setiap jarak kenaikan didapatkan titik yang dihubungkan sehingga terbentuk layer. Sedangkan pada jarak pengukuran 5 mm dimungkinkan batas layer tidak tepat bisa didapatkan tetapi diharapkan pola kecepatan didapatkan dengan perbedaan kecepatan sehingga dapat diketahui nilai minimum kecepatan yang masih dapat mengalir dalam pipa.



Gambar.4.14. Kedudukan pengukuran pitot tube

Pengukuran distribusi dilakukan pada  $\theta = 45^\circ$  dan konsentrasi 50%, hal ini diharapkan pada pengukuran  $\theta = 45^\circ$  diharapkan dapat mewakili perbedaan distribusi kecepatan yang menggambarkan adanya nilai minimum kecepatan yang masih dapat mengalir walaupun

pada setiap sudut yang berbeda akan didapatkan bentuk layer yang berbeda dan kemudian pada sudut ini pula akan didapatkan pola layer yang berbeda pada masing-masing pipa uji sehingga akan terlihat distribusi kecepatan pada masing-masing pipa uji tersebut. Kemudian dengan menggunakan konsentrasi 50% ini juga diharapkan dapat menggambarkan pola pengendapan karena pada konsentrasi ini fluida dikatakan Non Newtonian sehingga pengendapan pun diharapkan akan lebih terlihat bila dibandingkan dengan konsentrasi 30% yang merupakan fluida Newtonian.

Pipa uji yang diukur pada  $\theta = 45^\circ$  dan konsentrasi 50%, yaitu :

1. Pipa spiral  $P/D = 3.9$
2. Pipa spiral  $P/D = 4.3$
3. Pipa spiral  $P/D = 6.7$
4. Pipa circular  $D = 31.3 \text{ mm}$
5. Pipa circular  $D = 24.6 \text{ mm}$

Pengukuran pada pipa uji tersebut dilakukan pada bukaan valve 90° dengan menggunakan pitot tube dimana dapat diketahui perbedaan tekanan statis dan dinamis yang kemudian dengan persamaan 2.24 didapatkan nilai kecepatannya dimana pengukuran tersebut diambil dari 3 posisi yaitu : top, inner, dan outer sehingga didapatkan data sebagai berikut :

Table 4.41 Distribusi Kecepatan pada Pipa Spiral P/D = 3.9

SPIRAL P/D = 3,9

Posisi : TOP Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	610	605	5	0.31
r+1/2	5.0	596	592	4	0.26
r	0.0	589	586	3	0.22
r-1/2	-5.0	583	581	2	0.19
r-1	-10.0	579	578	1	0.16

Posisi : INNER Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	609	604	5.0	0.31
r+1/2	5.0	608	604	3.5	0.26
r	0.0	607	604	2.5	0.22
r-1/2	-5.0	606	604	1.8	0.19
r-1	-10.0	605	604	1.3	0.16

Posisi : OUTE R Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	572	571	1	0.16

r+1/2	5.0	578	576	2	0.19
r	0.0	583	580	3	0.22
r-1/2	-5.0	587	583	4	0.26
r-1	-10.0	592	587	5	0.31

Table 4.42 Distribusi Kecepatan pada Pipa Spiral P/D = 4.3

SPIRAL P/D = 4,3

Posisi : TOP Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)
r+1	10.0	631	625	6	0.35
r+1/2	5.0	635	630	5	0.31
r	0.0	629	625	4	0.27
r-1/2	-5.0	623	620	3	0.23
r-1	-10.0	612	610	2	0.18

Posisi : INNER Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)
r+1	10.0	616	610	6	0.35
r+1/2	5.0	615	610	5	0.31
r	0.0	614	610	4	0.27
r-1/2	-5.0	613	610	3	0.23
r-1	-10.0	612	610	2	0.18

Posisi : OUTE R Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)
r+1	10.0	600	598	2	0.18

r+1/2	5.0	604	601	3	0.23
r	0.0	607	603	4	0.27
r-1/2	-5.0	613	608	5	0.31
r-1	-10.0	616	610	6	0.35

Table 4.43 Distribusi Kecepatan pada Pipa Spiral P/D = 6.7

SPIRAL P/D = 6,7

Posisi : TOP Sudut : 45

Point (mm)	$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)	
r+1	10.0	667	650	17	0.58
r+1/2	5.0	660	645	15	0.53
r	0.0	650	638	12	0.48
r-1/2	-5.0	635	625	10	0.43
r-1	-10.0	622	615	7	0.36

Posisi : INNER Sudut : 45

Point (mm)	$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)	
r+1	10.0	647	630	17	0.58
r+1/2	5.0	645	630	15	0.53
r	0.0	642	630	12	0.48
r-1/2	-5.0	640	630	10	0.43
r-1	-10.0	637	630	7	0.36

Posisi : OUTE R Sudut : 45

Point (mm)	$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)
------------	------------	------------	-----------------	---------



r+1	10.0	622	615	7	0.36
r+1/2	5.0	630	620	10	0.43
r	0.0	635	623	12	0.48
r-1/2	-5.0	643	628	15	0.53
r-1	-10.0	647	630	17	0.58

Table 4.44 Distribusi Kecepatan pada Pipa Circular D = 31.3 mm

D = 31.3 mm

Posisi : TOP Sudut : 45

Point (mm)	$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)	
r+1	10.0	624	610	14	0.53
r+1/2	5.0	620	608	12	0.49
r	0.0	616	605	11	0.45
r-1/2	-5.0	604	595	9	0.41
r-1	-10.0	588	580	8	0.38

Posisi : INNER Sudut : 45

Point (mm)	$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	v (m/s)	
r+1	10.0	617	603	14	0.53
r+1/2	5.0	615	603	12	0.49
r	0.0	614	603	11	0.45
r-1/2	-5.0	612	603	9	0.41
r-1	-10.0	611	603	8	0.38

Posisi : OUTE R Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	586	578	8	0.38
r+1/2	5.0	592	583	9	0.41
r	0.0	597	586	11	0.45
r-1/2	-5.0	609	597	12	0.49
r-1	-10.0	615	601	14	0.53

Table 4.45 Distribusi Kecepatan pada Pipa Circular D = 24.6 mm

D = 24,6 mm

Posisi : TOP Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	685	665	20	0.62
r+1/2	5.0	674	657	17	0.57
r	0.0	667	653	14	0.52
r-1/2	-5.0	653	642	11	0.47
r-1	-10.0	649	640	9	0.42

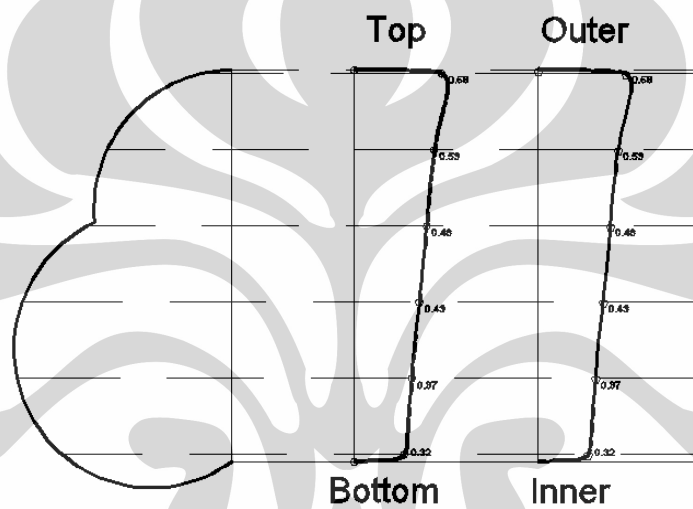
Posisi : INNER Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	675	655	20	0.62
r+1/2	5.0	672	655	17	0.57
r	0.0	669	655	14	0.52
r-1/2	-5.0	666	655	11	0.47
r-1	-10.0	664	655	9	0.42

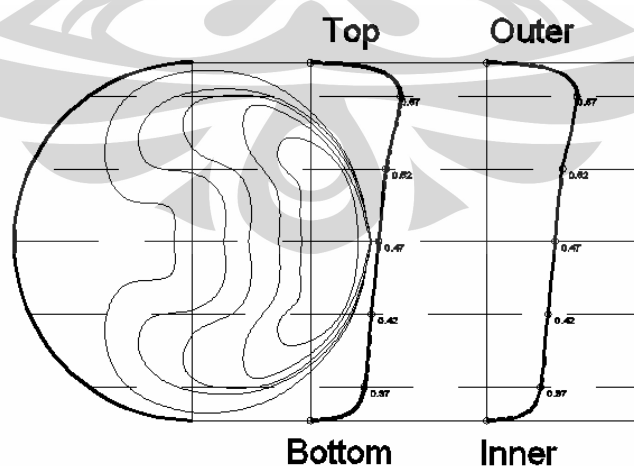
Posisi : OUTE R Sudut : 45

Point (mm)		$h_t$ (mm)	$h_s$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$v$ (m/s)
r+1	10.0	644	635	9	0.42
r+1/2	5.0	650	639	11	0.47
r	0.0	655	641	14	0.52
r-1/2	-5.0	664	647	17	0.57
r-1	-10.0	673	653	20	0.62

Dari tabel di atas terlihat sebagai perwakilan untuk semua pipa uji, pipa spiral P/D = 6.7 dan pipa circular 24.6 mm menunjukkan :



Gambar.4.15. Distribusi kecepatan pipa spiral lengkung P/D = 6.7



Gambar.4.16. Distribusi kecepatan pipa circular 24.6 mm

Dari kurva di atas menunjukkan bahwa kecepatan tertinggi terletak pada bagian atas pada posisi top dan pada bagian terluar outer dan kecepatan terendah pada bagian inner dan pada bagian bottom yang dimungkinkan terjadi pengendapan dan tidak dipungkiri bahwa kecepatan pada dinding pipa  $v = 0$ .

Pada pengukuran tersebut juga didapatkan debit dan waktu yang datanya terdapat pada pembahasan sebelumnya yang kemudian pengontrolan kecepatan dapat dilakukan dengan cara mendapatkan kecepatan rata-rata pada pipa keluar yang kemudian dengan persamaan laju aliran akan didapatkan kecepatan rata-rata pada pipa uji yang selanjutnya sebagai control terhadap luasan dan kecepatan yang dibentuk dalam penggambaran. Contoh perhitungan sebagai berikut :

Pada pipa spiral P/D = 4.3 dengan bukaan valve 90° didapatkan bahwa volume lumpur = 0.003 m<sup>3</sup>, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume tersebut 8.45 detik yang keluar dari pipa PVC 1 inch (0.0254 m) selanjutnya :

$$Q_{\text{keluar pvc}} = 0.003/8.45 = 0.00036 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{pvc}} = 3.14 ((0.0254/2)^2) = 0.00051 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{rata pvc}} = Q/A = 0.701015 \text{ m/s}$$

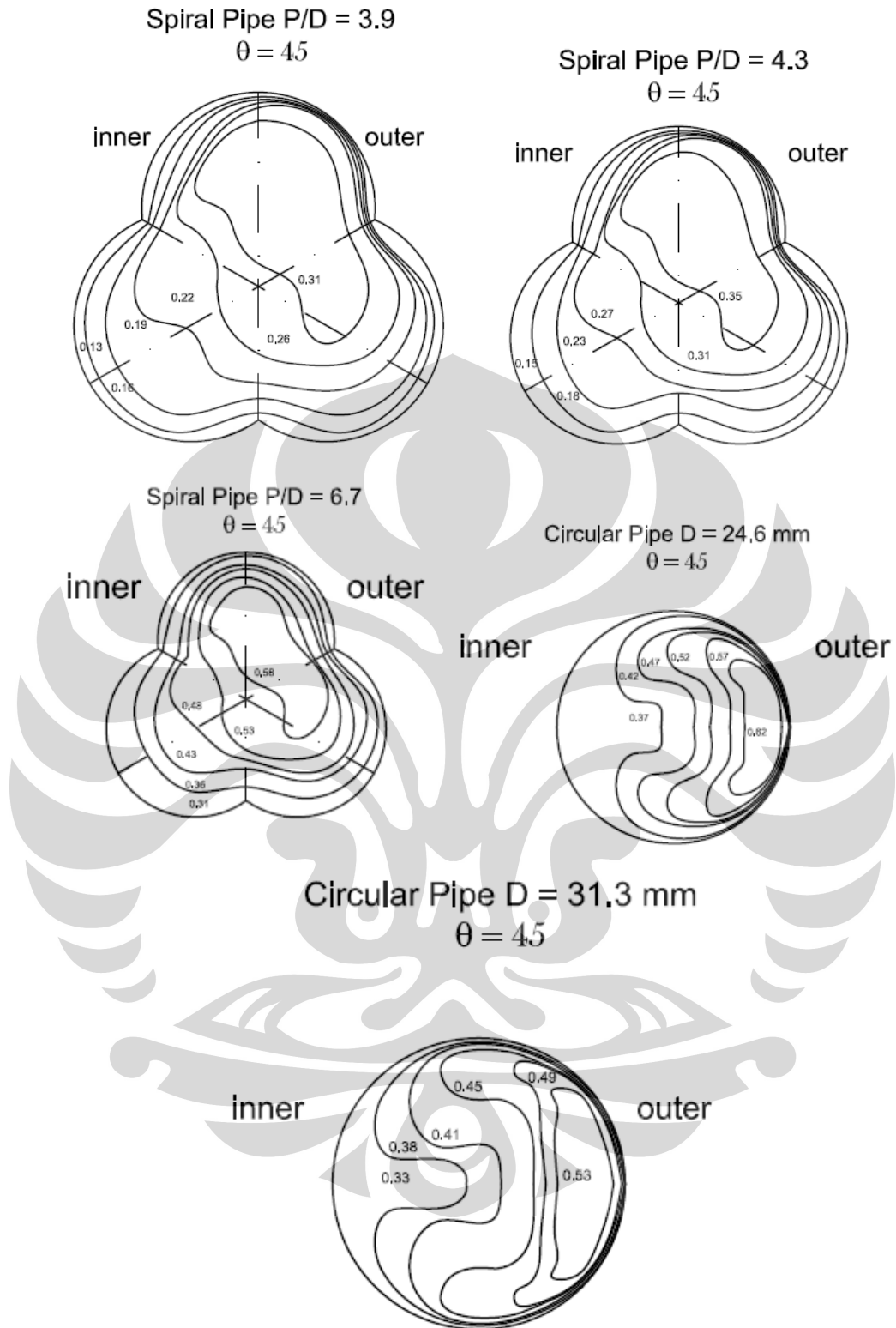
$$A_{\text{pipa spiral}} = 3.14 ((0.0424/2)^2) = 0.00141 \text{ m}^2, \text{ diameter rata-rata pipa spiral}$$

$$A_{\text{pvc}} \times V_{\text{pvc}} = A_{\text{spiral}} \times V_{\text{rata}}$$

$$V_{\text{rata}} = \frac{A_{\text{pvc}} \times V_{\text{pvc}}}{A_{\text{spiral}}}$$

$$V_{\text{rata}} = 0.25 \text{ m/s}$$

Proses penggambaran distribusi kecepatan dilakukan dengan mengikuti pembentukan layer dari penelitian watanabe “hydraulic and pneumatic conveyances of solid particles by a spiral tube”, yang menggunakan selisih jarak sangat kecil sehingga layer akan terbentuk sangat ideal. Tentunya dikondisikan dengan kondisi pengukuran ini dimana seperti tujuan sebelumnya hanya menggambarkan dan mengetahui distribusi kecepatan yang terjadi pada pipa uji.



Gambar.4.17. Bentuk layer distribusi kecepatan

Dari gambar di atas, kita dapat mengontrolnya dengan membentuk luasan dari persamaan laju aliran dan debit total harus sama dengan debit dari hasil penjumlahan debit pada setiap segmen, seperti di bawah ini :

$$Q_{total} = \sum_{i=1}^{n=5} A_n \times V_n$$

Tabel. 4.46 Control Debit total dan hasil

SPIRAL P/D = 3,9					
D <sub>pipa</sub> :	0.04676	m	v <sub>rata</sub> :	0.22	m/s
t :	7.89	s	Q <sub>total</sub> :	0.00038	m <sup>3</sup> /s
A <sub>pipa</sub> :	0.001716	m <sup>2</sup>	Q <sub>result</sub> :	0.00038	m <sup>3</sup> /s
A (mm <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	v		Q	
389.46	0.000389	0.31	m/s	0.000121	m <sup>3</sup> /s
323.33	0.000323	0.26	m/s	0.000082	m <sup>3</sup> /s
291.04	0.000291	0.22	m/s	0.000064	m <sup>3</sup> /s
316.04	0.000316	0.19	m/s	0.000060	m <sup>3</sup> /s
203.75	0.000204	0.16	m/s	0.000033	m <sup>3</sup> /s
192.49	0.000192	0.13	m/s	0.000025	m <sup>3</sup> /s

SPIRAL P/D = 4,3					
D <sub>pipa</sub> :	0.0424	m	v <sub>rata</sub> :	0.25	m/s
t :	8.45	s	Q <sub>total</sub> :	0.00036	m <sup>3</sup> /s
A <sub>pipa</sub> :	0.001411	m <sup>2</sup>	Q <sub>result</sub> :	0.00036	m <sup>3</sup> /s
A (mm <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	v		Q	
294.37	0.000294	0.35	m/s	0.000103	m <sup>3</sup> /s
291.86	0.000292	0.31	m/s	0.000090	m <sup>3</sup> /s
195.21	0.000195	0.27	m/s	0.000053	m <sup>3</sup> /s
217.55	0.000218	0.23	m/s	0.000050	m <sup>3</sup> /s
204.69	0.000205	0.18	m/s	0.000037	m <sup>3</sup> /s
207.72	0.000208	0.15	m/s	0.000031	m <sup>3</sup> /s

SPIRAL P/D = 6,7					
$D_{\text{pipa}}$ :	0.02722	m	$v_{\text{rata}}$ :	0.45	m/s
$t$ :	11.5	s	$Q_{\text{total}}$ :	0.00026	m <sup>3</sup> /s
$A_{\text{pipa}}$ :	0.000582	m <sup>2</sup>	$Q_{\text{result}}$ :	0.00026	m <sup>3</sup> /s
A (mm <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	v		Q	
93.91	0.000094	0.58	m/s	0.000054	m <sup>3</sup> /s
95.19	0.000095	0.53	m/s	0.000050	m <sup>3</sup> /s
87.37	0.000087	0.48	m/s	0.000042	m <sup>3</sup> /s
76.22	0.000076	0.43	m/s	0.000033	m <sup>3</sup> /s
101.55	0.000102	0.36	m/s	0.000037	m <sup>3</sup> /s
127.53	0.000128	0.31	m/s	0.000040	m <sup>3</sup> /s

CIRCULAR D = 31,3 mm					
$D_{\text{pipa}}$ :	0.0313	m	$v_{\text{rata}}$ :	0.42	m/s
$t$ :	9.34	s	$Q_{\text{total}}$ :	0.00032	m <sup>3</sup> /s
$A_{\text{pipa}}$ :	0.000769	m <sup>2</sup>	$Q_{\text{result}}$ :	0.00032	m <sup>3</sup> /s
A (mm <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	v		Q	
97.03	0.000097	0.53	m/s	0.000051	m <sup>3</sup> /s
73.76	0.000074	0.49	m/s	0.000036	m <sup>3</sup> /s
115.93	0.000116	0.45	m/s	0.000052	m <sup>3</sup> /s
197.34	0.000197	0.41	m/s	0.000081	m <sup>3</sup> /s
131.00	0.000131	0.38	m/s	0.000050	m <sup>3</sup> /s
154.37	0.000154	0.33	m/s	0.000051	m <sup>3</sup> /s

CIRCULAR D = 24,6 mm					
$D_{\text{pipa}}$ :	0.0246	m	$v_{\text{rata}}$ :	0.46	m/s

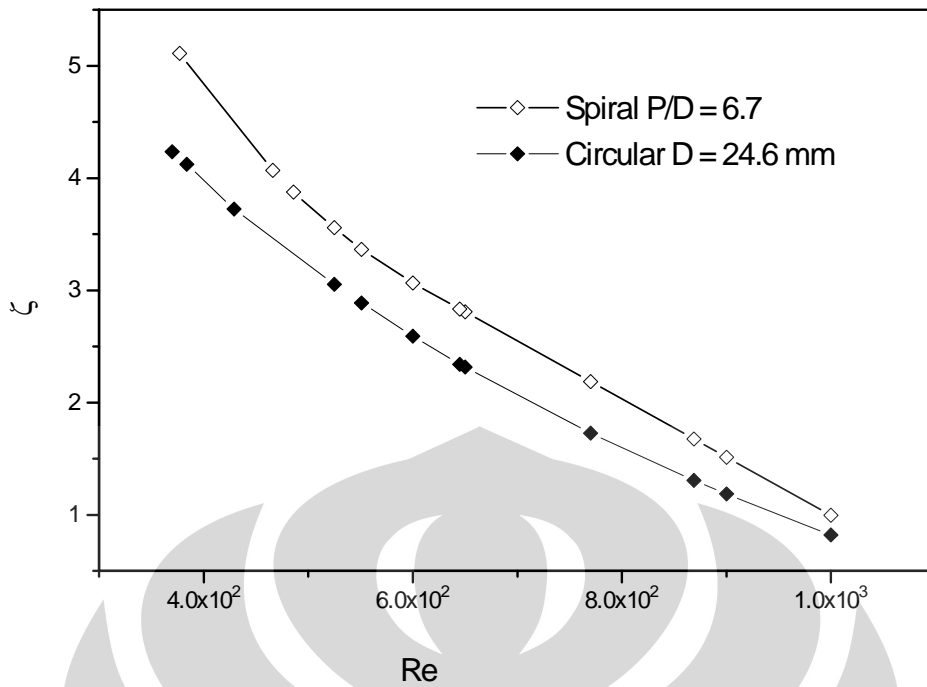
t :	13.6	s	Q <sub>total</sub> :	0.00022	m <sup>3</sup> /s
A <sub>pipa</sub> :	0.000475	m <sup>2</sup>	Q <sub>result</sub> :	0.00022	m <sup>3</sup> /s
A (mm <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	v	Q		
50.84	0.000051	0.62 m/s	0.000032	m <sup>3</sup> /s	
46.95	0.000047	0.57 m/s	0.000027	m <sup>3</sup> /s	
66.15	0.000066	0.52 m/s	0.000034	m <sup>3</sup> /s	
61.00	0.000061	0.47 m/s	0.000029	m <sup>3</sup> /s	
102.26	0.000102	0.42 m/s	0.000043	m <sup>3</sup> /s	
148.10	0.000148	0.37 m/s	0.000055	m <sup>3</sup> /s	

#### 4.3 Analisis data

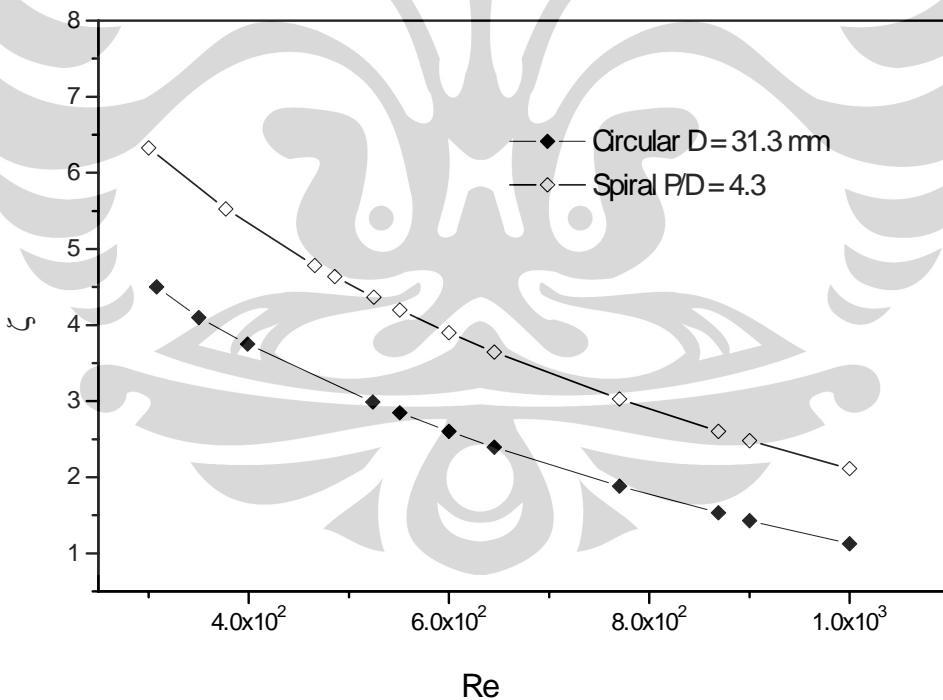
Lumpur Lapindo dengan konsentrasi kepadatan 50% maupun 30% memiliki karakteristik yang berbeda. Dimana untuk konsentrasi 30% mendekati fluida Newtonian, sedangkan untuk konsentrasi 50% mendekati sifat fluida non-newtonian. Hal ini terlihat jelas pada hubungan antara apparent viscosity dan shear rate. Dimana untuk konsentrasi padatan 50% terjadi penurunan nilai apparent viscositynya seiring meningkatnya shear rate. Setelah dilakukan perhitungan power law index pun didapatkan nilai 0,92 sehingga termasuk dalam fluida Non-Newtonian lebih tepatnya jenis pseudo plastis. Karakteristik dari pseudo plastis yaitu semakin besar shear rate ataupun kecepatannya, maka viskositas fluida semakin turun, dengan kata lain fluida semakin encer. Namun, untuk konsentrasi padatan 30% termasuk kedalam fluida Newtonian. Dimana viskositasnya tidak mengalami perubahan yang berarti meskipun shear ratenya berubah. Setelah dilakukan perhitungan power law index pun menunjukkan nilai 1 untuk konsentrasi padatan ini.

Kerugian jatuh tekanan (minor losses) untuk pipa bulat cenderung lebih kecil dibandingkan dengan pipa spiral. Namun, untuk kecepatan tertentu, nilai minor losses dari pipa spiral berhimpit atau mendekati pipa bulat. Disitulah terjadi drag reduction pada pipa spiral dengan kecepatan tertentu. Bisa dilihat pada grafik di bawah ini:





Gambar 4.18 Perbandingan Minor Losses spiral  $P/D = 6.7$  dan circular  $D = 24.6$  mm pada konsentrasi 50%



Gambar 4.19 Perbandingan Minor Losses spiral  $P/D = 4.3$  dan circular  $D = 31.3$  mm pada konsentrasi 50%

Untuk  $P/D = 6,7$  pipa spiral memiliki nilai minor losses yang lebih kecil dibanding dengan pipa spiral dengan  $P/D = 4,3$ . Hal ini berlaku untuk semua konsentrasi yang

dipakai yaitu 30% maupun 50%. Terlihat juga dalam grafik di atas, untuk pipa spiral dengan  $P/D = 6,7$  selisih minor losses dengan pipa bulat  $D = 0,0246$  m lebih kecil dibanding selisih minor losses pada pipa spiral  $P/D = 3,4$  dengan pipa bulat  $D = 0,0313$  m.

Distribusi kecepatan pada pipa spiral berbeda dengan distribusi kecepatan pada pipa bulat, hal ini dikarenakan pada pipa spiral masih memiliki kecepatan puntiran sehingga layer yang terbentuk menjadi berbeda terlihat pada gambar 4.15 dan 4.16. Kecepatan minimum juga masih dapat dicapai oleh pipa spiral, hal ini juga terjadi karena masih ada kecepatan puntiran yang menambah fluida agar tetap mengalir yang mengakibatkan partikel juga terpuntir sehingga pengendapan pun bisa dihindari sedangkan pada pipa bulat kecepatan minimumnya cukup tinggi sehingga dimungkinkan terjadinya pengendapan akibat penyempitan ruang gerak fluida. Pada pipa bulat dengan kecepatan tertentu dimungkinkan telah terjadi pengendapan, hal ini terlihat pada pipa circular  $D = 24.6$  mm dengan kecepatan minimum yang didapat adalah  $0.42$  m/s untuk dapat mengalirkan pengendapan sedangkan pada pipa spiral belum terjadi pengendapan walaupun dengan kecepatan minimum  $0.36$  m/s. Hal ini terlihat jelas pada gambar penampang distribusi kecepatan dimana ketebalan kecepatan minimum pada pipa spiral  $P/D = 6.7$  lebih kecil dibandingkan ketebalan kecepatan minimum pada pipa bulat. Dapat disimpulkan bahwa pipa spiral cukup efisien untuk digunakan untuk menghindari adanya pengendapan dibandingkan dengan pipa bulat.

Seperti pada table di bawah ini :

Tabel. 4.47 Kecepatan dan luasan minimum

	$v_{\min}$ (m/s)	$A_{\min}$ (m <sup>2</sup> )
$P/D = 3.9$	0.16	2.037E-04
$P/D = 4.3$	0.18	2.047E-04
$D = 31.3$	0.38	1.310E-04
$P/D = 6.7$	0.36	1.015E-04
$D = 24.6$	0.42	1.023E-04

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Nilai jatuh tekanan (*minor losses*) untuk pipa spiral lengkung lebih tinggi dibanding pada pipa bulat lengkung. Namun, untuk konsentrasi Lumpur 50% (Lumpur bersifat non-newtonian, lebih tepatnya adalah pseudoplastis) memiliki nilai jatuh tekanan yang berhimpit dengan nilai jatuh tekanan pada pipa bulat lengkung untuk  $Re = 2 \times 10^3$ .
2. Ketebalan kecepatan minimal pada pipa spiral lengkung lebih kecil dibanding pipa bulat lengkung. Hal ini terlihat pada spiral  $P/D = 6.7$  bahwa kecepatan minimumnya 0.36 m/s dan luasannya  $1.015E-04 \text{ m}^2$  sedangkan pada pipa bulat  $D = 24.6 \text{ mm}$  bahwa kecepatan minimumnya 0.42 m/s dan luasannya  $1.023E-04 \text{ m}^2$  sehingga pada pipa spiral lengkung masih dapat menahan pengendapan dan mengalirkan Lumpur.

#### 5.2 SARAN

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

1. Penelitian ini berada pada nilai  $Re$  yang kecil, Untuk itu perlu dicoba penelitian pada nilai  $Re$  yang besar.
2. Alat uji ini mampu untuk menguji jenis fluida Newtonian maupun Non-Newtonian, oleh karena itu sebaiknya selain Lumpur dilakukan penelitian fluida lain pada alat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- AHP Skelland. *Non Newtonian Flow and Heat Transfer*. John Willey & Sons. Inc 1967. Pp. 37-47
- Baha. E. abulnaga. *Slurry Syatem Handbook*. New York : Mc Graw Hill. 2002
- Kurniawan, I Wayan Eka. *Hambatan Gesek Aliran Lumpur Lapindo dalam Pipa*. Skripsi. 2007
- Munson, Bruce R, Young, Donald F, and Okiishi, Theodore H. *Fundamental of Fluids Mechanics*. fourth edition, John Willey & Sons, Inc. 2002
- S. Plumlee. Geoffrey, dkk. *Premilinary Analytical Result for a Mud Sample Collected from the LUSI Mud Vulcano, Sidoarjo, East Java, Indonesia..* USGS. Science for a Changing World. 2008.
- Watanabe, K, Yanuar, Udagawa, H., 1997-5. *Drag Reduction of Newtonian Fluids in a Circular Pipe with Higly Water Repellent Walls*. The 3<sup>rd</sup> International Symposium on Performance Enhancement for Marine Aplications. Newport, Rhodeisland. pp. 157-162
- Watanabe, K. Yanuar., and H udagawa. *Drag Reduction of Newtonian Fluid in a Circular Pipe with Highly Water Repellent Wall*. Journal of Fluid Mech.225.1999
- Watanabe.Keizo, Uchida.Noboru, and Kato. Hiroshi. *Gas Solid Mixture Flow in a Spirial Tube*. Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineerings. 1995
- Watanabe.Keizo, Hirakawa.Masato, and Kato. Hiroshi. *Experimental Study on Turbulent Flow in Curved Spirial Tube*. Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineerings. 1995
- Watanabe.Keizo, Iwata.Toshiyuki, and Kato. Hiroshi. *Experimental Study on Turbulent Flow in Curved Spirial Tube*. Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineerings. 1995
- Wilkinson, W.I. *Non-Newtonian Fluids*. London. Pergamon Press.1960
- Yanuar and Watanabe K. *Drag Reduction of Guar Gum in Crude Oil*. The 13<sup>th</sup>. International Symposium on Transport Phenomena. Victoria Canada. Elsevier.2002.p.833-836
- Krause, Egon. *Fluids Mechanics*. Springer. 2005