

**TUGAS AKHIR**  
**SIMULASI NUMERIK KERUGIAN ENERGI PADA**  
**BELOKAN PIPA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**RENDY KUSWARY**  
**1507230120**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**219**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

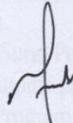
Nama : Rendy Kuswary  
NPM : 1507230120  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 08 Maret 2019

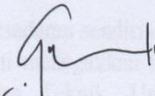
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



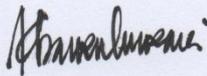
H. Muharnif, S.T., M.Sc.

Dosen Peguji II



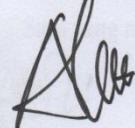
Chandra A. Siregar, S.T., M.T.

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T.

Dosen Peguji IV



Sudirman Lubis, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,

  
Affandi, S.T., M.T.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rendy Kuswary  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/28 Mei 1997  
NPM : 1507230120  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

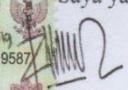
### **“Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 Maret 2019

Saya yang menyatakan,  
  
  
Rendy Kuswary

## ABSTRAK

Pipa sebagai alat transportasi fluida dari tempat penampungan ke tempat pemakaian memerlukan instalasi dengan berbagai jenis dan ukuran diameter pipa. Dalam pembuatan instalasi pipa akan selalu ditemukan berbagai jenis belokan yang akan mengakibatkan kerugian aliran atau kerugian energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerugian aliran atau energi yang terjadi pada instalasi pipa dengan belokan 90°, belokan siku, dan belokan 180° dengan variasi kecepatan aliran ( $v$ ) mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 yang berupa *head loss*. Dilakukan dengan metode simulasi numerik menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yaitu *Solidworks* 2014. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa berbahan dasar tembaga dengan nilai kekasaran permukaan 1,5 mikrometer dan dengan ukuran standart *Solidworks* 2014. Adapun ukuran diameter luar 33,53 mm, diameter dalam 26,77 mm dan panjang pipa yaitu 2 m. Sedangkan fluida yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan air dengan suhu 25°C dengan nilai roh ( $\rho$ ) sebesar 997,0 kg/m<sup>3</sup>. Dari hasil simulasi yang dilakukan mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 pada ketiga jenis belokan aliran diperoleh hasil kerugian energi (*head loss*) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan 90° yaitu sebesar 0,0061 m, kerugian energi (*head loss*) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan siku yaitu sebesar 0,0084 m, dan kerugian energi (*head loss*) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan 180° yaitu sebesar 0,0088 m.

Kata kunci : Simulasi numerik, kerugian energi, belokan pipa

## **ABSTRACT**

*Pipes as a means of transporting fluids from shelters to use require installation with various types and sizes of pipe diameters. In making pipe installations there will always be various types of turns that will result in loss of flow or head loss. This study aims to determine the flow or head losses that occur in the installation of pipes with 90° turns, angled turns, and turns 180° with variations in flow velocity ( $v$ ) starting from reynold ( $Re$ ) 1000 - reynold ( $Re$ ) 7000 in the form of head loss. Performed by numerical simulation method using finite element method based software, Solidworks 2014. The pipe used in this study is copper-based pipe with a surface roughness value of 1.5 micrometers and with a standard size of Solidworks 2014. The outer diameter size is 33.53 mm, inner diameter of 26.77 mm and the length is 2 m. While the fluid used in this study is using water with a temperature of 25 °C with a spirit value ( $\rho$ ) of 997.0 kg / m<sup>3</sup>. From the results of simulations carried out starting from the reynold ( $Re$ ) 1000 -  $Re$  7000 numbers in the three types of flow turns obtained the biggest head loss results that occur in the flow with a turn of 90° which is equal to 0.0061 m, the biggest head loss occurring in angled turns is equal to 0.0084 m, and the biggest head loss that occurs in flow with a turn of 180° is equal to 0.0088 m.*

*Keywords: Numerical simulation, head loss, pipe turns*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak H. Muharnif, S.T., M. Sc. selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar A. Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Rusdimianto dan Dahniar, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Rizki Fadillah, Jefri Maulana Lubis, Bayu Darmawan, Bayu Anggara, Aji Maulana, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 16 Maret 2019



Rendy Kuswary

### SARJANA TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Definisi Fluida

##### 2.1.1. Sifat Dasar Fluida

###### 2.1.1.1. Kerapatan (Density)

###### 2.1.1.2. Berat Jenis (Specific Gravity)

###### 2.1.1.3. Tekanan (Viscosity)

###### 2.1.1.4. Kekentalan (Kinematic)

#### 2.2. Aliran Laminar dan Turbulen

#### 2.3. Persamaan Bernoulli

#### 2.4. Persamaan Kontinuitas

#### 2.5. Sistem Perpipaan

#### 2.6. Hukum Newton Tentang Kekekalan

#### 2.7. Hukum Tekanan Gesek

#### 2.8. Minor Losses

#### 2.9. Hubungan Head Loss Dengan Kehilangan Energi

#### 2.10. Koefisien Kehilangan Pada Belokan Pipa

#### 2.11. Frigortasi Sudden

#### 2.12. Frigortasi Numeris

#### 2.13. Frigortasi Sudden Non-nomik

#### 2.14. Solusi

#### 2.15. Kompetensi Dinamika Fluida

### 3. METODOLOGI

#### 3.1. Tempat dan Waktu

##### 3.1.1. Tempat

##### 3.1.2. Waktu

#### 3.2. Bahan dan Alat

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.4.1. Tujuan Umum	3
1.4.2. Tujuan Khusus	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Definisi Fluida	4
2.1.1. Sifat Dasar Fluida	4
2.1.1.1. Kerapatan ( <i>Density</i> )	4
2.1.1.2. Berat Jenis ( <i>Specific Gravity</i> )	5
2.1.1.3. Tekanan ( <i>Pressure</i> )	5
2.1.1.4. Kekentalan ( <i>Viscosity</i> )	6
2.2. Aliran Laminar dan Turbulen	7
2.3. Persamaan Bernaulli	8
2.4. Persamaan Kontinuitas	8
2.5. Sistem Perpipaan	8
2.6. Hukum Newton Tentang Kekentalan	9
2.7. Hukum Tekanan Gesek	10
2.8. Minor <i>Losses</i>	11
2.9. Hubungan <i>Head Loss</i> Dengan Kerugian Energi	12
2.10. Koefisien Kerugian Pada Belokan Pipa	13
2.11. Pengertian Simulasi	14
2.12. Pengertian Numerik	14
2.13. Pengertian Simulasi Numerik	14
2.14. <i>Solidworks</i>	15
2.15. Komputasi Dinamika Fluida	16
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	<b>19</b>
3.1. Tempat dan Waktu	19
3.1.1. Tempat	19
3.1.2. Waktu	19
3.2. Bahan dan Alat	19

3.3. Bagan Alir Penelitian	21
3.4. Rancangan Simulasi Penelitian	22
3.5. Prosedur Penelitian	25
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>27</b>
4.1. Hasil Simulasi	27
4.1.1. Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan 90°	27
4.1.1.1. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 1000	27
4.1.1.2. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 2000	29
4.1.1.3. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 3000	30
4.1.2. Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan Siku	32
4.1.2.1. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 1000	32
4.1.2.2. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 2000	34
4.1.2.3. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 3000	35
4.1.3. Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan 180°	37
4.1.3.1. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 1000	37
4.1.3.2. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 2000	39
4.1.3.3. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 3000	41
4.2. Pembahasan	43
4.2.1. Koefisien Kerugian Pada Belokan Pipa 90°	43
4.2.1.1. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 1000	43
4.2.1.2. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 2000	44
4.2.1.3. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 3000	44
4.2.2. Koefisien Kerugian Pada Belokan Pipa Siku	45
4.2.2.1. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 1000	46
4.2.2.2. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 2000	46
4.2.2.3. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 3000	47
4.2.3. Koefisien Kerugian Pada Belokan Pipa 180°	48
4.2.3.1. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 1000	48
4.2.3.2. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 2000	49
4.2.3.3. Pada Bilangan <i>Reynold</i> (Re) 3000	49
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>54</b>
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Sifat air pada tekanan atmosfer	9
Tabel 3.1.	Jadwal kegiatan penelitian	19
Tabel 3.2.	Nilai kekasaran permukaan pipa ( $\varepsilon$ )	25
Tabel 4.1.	Data hasil simulasi pada belokan pipa belokan 90°	32
Tabel 4.2.	Data hasil simulasi pada belokan pipa belokan siku	37
Tabel 4.3.	Data hasil simulasi pada belokan pipa belokan 180°	42
Tabel 4.4.	Nilai hasil perhitungan $\Delta P$ pada pipa belokan 90°	45
Tabel 4.5.	Nilai hasil perhitungan <i>head loss</i> pada pipa belokan 90°	45
Tabel 4.6.	Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa belokan 90°	45
Tabel 4.7.	Nilai hasil perhitungan $\Delta P$ pada pipa belokan siku	47
Tabel 4.8.	Nilai hasil perhitungan <i>head loss</i> pada pipa belokan siku	48
Tabel 4.9.	Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa belokan siku	48
Tabel 4.10.	Nilai hasil perhitungan $\Delta P$ pada pipa belokan 180	50
Tabel 4.11.	Nilai hasil perhitungan <i>head loss</i> pada pipa belokan 180°	50
Tabel 4.12.	Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa belokan 90°	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tekanan di setiap arah dalam fluida	6
Gambar 2.2.	Penentuan kekentalan	7
Gambar 2.3.	Skema aliran dalam pipa	7
Gambar 2.4.	Definisi tegangan geser	10
Gambar 2.5.	Grafik <i>head loss</i> – kecepatan	11
Gambar 2.6.	Efek bilangan <i>Reynolds</i> terhadap koefisien kerugian pada <i>elbow</i> 90°	12
Gambar 2.7.	Koefisien kerugian pada belokan	13
Gambar 2.8.	Bentuk belokan patah pipa	14
Gambar 2.9.	Tampilan awal <i>Solidworks</i>	15
Gambar 3.1.	Komputer laboratorium komputer fakultas teknik UMSU	20
Gambar 3.2.	Perangkat lunak <i>Solidworks</i> 2014	20
Gambar 3.3.	Bagan alir penelitian	21
Gambar 3.4.	Tampilan awal <i>Solidworks</i> 2014	22
Gambar 3.5.	Ukuran model aliran simulasi pada pipa radius 90°	23
Gambar 3.6.	Ukuran model simulasi pada pipa siku	23
Gambar 3.7.	Ukuran model aliran simulasi pada pipa radius 180°	23
Gambar 3.8.	Ukuran diameter pipa aliran	24
Gambar 3.9.	Desain aliran pipa aliran setelah di <i>swept boss / base</i> pada pipa radius 90°	24
Gambar 3.10.	Desain aliran pipa aliran setelah di <i>swept boss / base</i> pada pipa siku	24
Gambar 3.11.	Desain aliran pipa aliran setelah di <i>swept boss / base</i> pada pipa radius 180°	25
Gambar 4.1.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	28
Gambar 4.2.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	28
Gambar 4.3.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	29
Gambar 4.4.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	30
Gambar 4.5.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	31
Gambar 4.6.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	31
Gambar 4.7.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	33
Gambar 4.8.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	33
Gambar 4.9.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	34
Gambar 4.10.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	35
Gambar 4.11.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	36
Gambar 4.12.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	36
Gambar 4.13.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	38
Gambar 4.14.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	38
Gambar 4.15.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	40
Gambar 4.16.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	40
Gambar 4.17.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa tekanan	41

Gambar 4.18.	<i>Visualisasi</i> aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida	42
Gambar 4.19.	Grafik perbandingan bilangan <i>reynold</i> (Re) terhadap <i>pressure drop</i> ( $\Delta P$ )	51
Gambar 4.20.	Grafik perbandingan bilangan <i>reynold</i> (Re) terhadap <i>head loss</i>	52
Gambar 4.21.	Grafik perbandingan bilangan <i>reynold</i> (Re) terhadap koefisien kerugian (k)	53

## DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Besaran	Satuan
1.	$\rho$	Massa jenis fluida	$\text{kg/m}^3$
2.	$m$	Massa	$\text{kg}$
3.	$V$	<i>Volume</i>	$\text{m}^3$
4.	$g$	Percepatan gravitasi bumi	$\text{m/s}^2$
5.	$P$	Tekanan	$\text{Pa (N/m}^2\text{)}$
6.	$F$	Gaya	$\text{kg}$
7.	$A$	Luas penampang	$\text{m}^2$
8.	$\mu$	<i>Viskositas</i> dinamik	$\text{kg/m.s}$
9.	$\nu$	<i>Viskositas</i> kinematik	$\text{m}^2/\text{s}$
10.	$\tau$	Tegangan geser	$\text{kg/m}^2$
11.	$y$	Ketinggian fluida	$\text{m}$
12.	$Y$	Berat jenis	$\text{N/m}^3$
13.	$Q$	Debit	$\text{m}^3/\text{s}$
14.	$v$	Kecepatan fluida	$\text{m/s}$
15.	$t$	Waktu	$\text{s}$
16.	$H_L$	<i>Head loss</i>	$\text{m}$
17.	$\theta$	Sudut belokan	derajat
18.	$D$	Diameter pipa	$\text{m}$
19.	$k$	Koefisien kerugian	
20.	$Re$	Bilangan <i>Reynold</i>	
21.	$d$	Diameter dalam	$\text{m}$
22.	$\Delta P$	<i>Pressure drop</i>	$\text{Pa (N/m}^2\text{)}$
23.	$z$	Tinggi permukaan	$\text{m}$
24.	$f$	Faktor kerugian	

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Setiap hari kita semua selalu berhubungan dengan fluida hampir tanpa sadar. Banyak gejala alam yang indah dan menakjubkan, seperti bukit - bukit dan lembah - lembah yang dalam, terjadi akibat gaya - gaya yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Semua fluida mempunyai atau menunjukkan sifat - sifat dan karakteristik yang penting dalam dunia rekayasa.

Penerapan prinsip - prinsip mekanika fluida dapat dijumpai pada bidang industri, transportasi maupun bidang keteknikan lainnya. Namun dalam penggunaannya pasti selalu terjadi kerugian energi. Dengan mengetahui kerugian energi pada suatu sistem yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, akan menentukan tingkat efisiensi penggunaan energi.

Bentuk - bentuk kerugian energi pada aliran fluida antara lain dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian-kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup - katup, belokan pipa, percabangan pipa dan kerugian - kerugian khusus lainnya. Dengan mengetahui kehilangan atau kerugian energi dalam suatu sistem atau instalasi perpipaan yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan sehingga diperoleh keuntungan yang maksimal. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian - kerugian adalah sambungan belokan pipa.

Pada pendistribusian air, sambungan belokan pipa sangat banyak ditemukan baik di industri ataupun di perumahan. Dilihat dari jenis belokannya terdapat dua jenis belokan dalam sambungan pipa, yaitu sambungan belokan patah dan sambungan belokan yang berjari - jari. Dari kedua jenis belokan tersebut yang sering dan paling banyak ditemukan adalah sambungan belokan berjari-jari. (Zainudin, 2012)

Besarnya *head losses* ( kerugian – kerugian energi ) pada sambungan belokan pipa tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: diameter aliran, debit, *viskositas*, dan sudut pada sambungan belokan pipa tersebut. Besarnya *head*

*loss* yang terjadi tentunya akan mengurangi efisiensi pada aliran fluida. Dengan mempertimbangkan masalah ini maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh belokan pipa terhadap kerugian energi ( *head loss* ) dengan metode analisa numerik berbasis komputer yaitu dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* 2014 untuk mempermudah proses analisa numerik.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dibuatlah penelitian sebagai Tugas Akhir ( skripsi ) dengan judul : "Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa".

### 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana membuat simulasi numerik kerugian energi pada belokan pipa dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* ?
2. Bagaimana menganalisa dan menghitung besarnya kerugian energi pada suatu belokan pipa dengan memvariasikannya sebanyak 3 (tiga) jenis belokan dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* ?
3. Bagaimana menghitung besarnya koefisien kerugian pada suatu aliran dengan belokan pipa ?

### 1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Membuat aliran fluida dengan belokan pipa dengan memvariasikannya sebanyak 3 (tiga) jenis belokan yaitu aliran dengan belokan 90°, aliran dengan belokan siku, dan aliran dengan belokan 180°
2. Kecepatan aliran mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000
3. Menggunakan pipa berukuran diameter dalam 26,77 mm, diameter luar 33,53 mm dan panjang pipa 2 m.
4. Menggunakan pipa berbahan tembaga dengan nilai kekasaran 1,5 mikrometer
5. Menggunakan fluida berupa air dengan suhu 25°C.
6. Menggunakan perangkat lunak *Solidworks* 2014 sebagai media simulasi.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1.4.1. Tujuan Umum

1. Untuk menganalisis kerugian energi pada belokan pipa dengan menggunakan aplikasi *Solidworks* 2014.

#### 1.4.2. Tujuan Khusus

1. Untuk menghitung *head loss* pada aliran fluida dengan belokan pipa
2. Untuk menghitung nilai *pressure drop* pada aliran fluida dengan belokan pipa
3. Untuk menghitung nilai koefisien kerugian pada aliran fluida dengan belokan pipa

#### 1.5. Manfaat Penelitian

1. Dapat menganalisa dan menghitung besarnya kerugian energi pada suatu aliran fluida yang mengalir pada aliran dengan belokan pipa dengan metode simulasi numerik
2. Dapat mengetahui dan menghitung nilai koefisien kerugian pada suatu aliran fluida terutama pada aliran dengan belokan pipa.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### 2.1. Definisi Fluida

Menurut (Raswari, 1986), fluida merupakan suatu zat / bahan yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser ( *shear force* ). Dapat pula didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir bila ada perbedaan tekanan dan atau tinggi. Suatu sifat dasar fluida nyata, yaitu tahanan terhadap aliran yang diukur sebagai tegangan geser yang terjadi pada bidang geser yang dikenai tegangan tersebut adalah *viskositas* atau kekentalan / kerapatan zat fluida tersebut.

Fluida dapat didefinisikan sebagai suatu zat mampu alir dan dapat menyesuaikan bentuk dengan bentuk wadah yang ditempatinya, serta apabila diberikan tegangan geser, berapapun kecilnya akan menyebabkan fluida tersebut bergerak dan berubah bentuk secara terus - menerus selama tegangan tersebut bekerja. (Zainudin, 2012)

Dengan pengertian diatas maka fluida dapat dibedakan atas zat cair dan gas. Dimana kedua zat ini pun berbeda secara teknis akibat gaya kohesif. Zat cair cenderung mempertahankan volumenya dan akan membutuhkan permukaan bebas dalam medan gravitasi. Aliran muka bebas sangat dipenuhi efek gravitasi sedangkan zat gas akan memuai dengan bebas sampai tertahan oleh dinding yang membatasinya. Gas tersebut akan membentuk atmosfer yang pada hakekatnya akan bersifat hidrostatis.

##### 2.1.1. Sifat Dasar Fluida

Cairan dan gas disebut fluida, sebab zat cair tersebut dapat mengalir. Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu : kerapatan ( *density* ), berat jenis ( *specific gravity* ), tekanan ( *pressure* ), kekentalan ( *viscosity* ).

###### 2.1.1.1. Kerapatan ( *Density* )

Kerapatan atau density dinyatakan dengan  $\rho$  ( *rho* ) yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara massa per satuan *volume*, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (2.1.)$$

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya. Satuan SI untuk kerapatan adalah  $\text{kg/m}^3$ . Kadang kerapatan diberikan dalam  $\text{g/cm}^3$ . Dengan catatan bahwa jika  $\text{kg/m}^3 = 1000 \text{ g}/(100 \text{ cm}^3)$ , kemudian kerapatan yang diberikan dalam  $\text{g/cm}^3$  harus dikalikan dengan 1000 untuk memberikan hasil dalam  $\text{kg/m}^3$ . Dengan demikian kerapatan air adalah  $1,00 \text{ g/cm}^3$ , akan sama dengan  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

#### 2.1.1.2. Berat Jenis ( *Specific Gravity* )

Berat jenis suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan bahan terhadap kerapatan air. Berat jenis ( *specific gravity* disingkat SG ) adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan (Wibowo, 2013), dinyatakan pada persamaan 2.2. dan 2.3. sebagai berikut:

$$\text{Untuk fluida cair } SG_c = \frac{\rho_g \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]}{\rho_w \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]} \quad (2.2.)$$

$$\text{Untuk fluida cair } SG_c = \frac{\rho_g \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]}{\rho_a \left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]} \quad (2.3.)$$

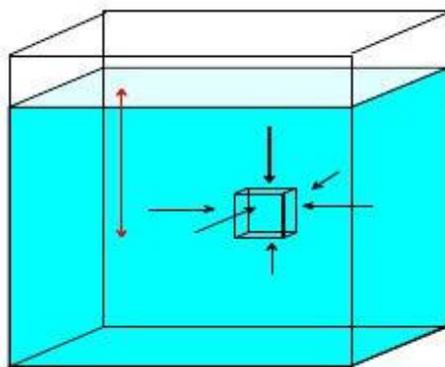
#### 2.1.1.3. Tekanan ( *Pressure* )

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya  $F$  dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan  $A$  (Wibowo, 2013), maka:

$$P = \frac{F}{A} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.4.)$$

Konsep tekanan sangat berguna terutama dalam urusan dengan fluida. Sebuah fakta eksperimental menunjukkan bahwa fluida menggunakan tekanan ke semua arah. Hal ini sangat dikenal oleh para perenang dan juga penyelam yang secara langsung merasakan tekanan air pada seluruh bagian tubuhnya. Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan sama untuk semua arah. Ini diilustrasikan dalam gambar 2.1. Bayangan fluida dalam sebuah kubus kecil sehingga kita dapat mengabaikan gaya gravitasi yang bekerja padanya. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya

*netto* yang bekerja pada kubus ini tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini akan bergerak hingga tekanan yang bekerja menjadi sama.

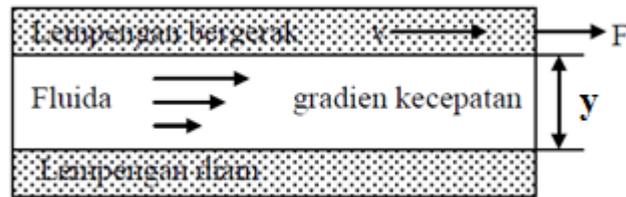


Gambar 2.1. Tekanan adalah sama di setiap arah dalam suatu fluida pada kedalaman tertentu jika tidak demikian maka fluida akan bergerak (Wibowo, 2013)

#### 2.1.1.4. Kekentalan ( *Viscosity* )

Kekentalan ( *viscosity* ) didefinisikan sebagai gesekan internal atau gesekan fluida terhadap wadah dimana fluida itu mengalir. Ini ada dalam cairan atau gas, dan pada dasarnya adalah gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan ketika bergerak melintasi satu sama lain atau gesekan antara fluida dengan wadah tempat ia mengalir. Dalam cairan, kekentalan disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-molekulnya sedangkan gas, berasal tumbukan diantara molekul-molekul tersebut (Wibowo, 2013).

Kekentalan fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan,  $\mu$  yang didefinisikan dengan cara sebagai berikut: Fluida diletakkan diantara dua lempengan datar. Salah satu lempengan diam dan yang lain dibuat bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing - masing lempengan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat diantara molekul - molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Dengan demikian permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju ( $v$ ) yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan dengan lempengan diam bertahan diam. Kecepatan bervariasi secara linear dari 0 hingga  $v$  seperti ditunjukkan gambar 2.2.



Gambar 2.2. Penentuan kekentalan

$$\mu = \frac{F / A}{v / y} \quad (2.5.)$$

Viskositas dibedakan atas dua macam yaitu:

1) *Viskositas kinematik*, adalah perbandingan antara *viskositas* mutlak terhadap rapat jenis / *density*

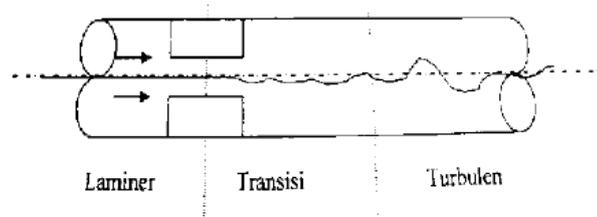
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.6.)$$

2) *Viskositas dinamik* atau *viskositas* mutlak mempunyai nilai sama dengan hukum viskositas Newton.

$$\mu = \frac{\tau}{du / dy} \quad (2.7.)$$

## 2.2. Aliran Laminar dan Turbulen

Beberapa tahun yang lalu, *Osborn Reynolds* telah melakukan beberapa percobaan untuk menentukan kriteria aliran laminar dan turbulen. *Reynolds* menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar, jika kecepatan alirannya diturunkan sedemikian rupa sehingga bilangan *Reynolds* lebih kecil dari 2300 (  $Re < 2300$  ). Begitupula dikatakan alirannya turbulen, pada saat bilangan *Reynolds* lebih besar dari 4000 (  $Re > 4000$  ). Dan jika bilangan *Reynolds* berada diantara 2300 dan 4000 (  $2300 < Re < 4000$  ) maka aliran tersebut adalah aliran yang berada pada daerah transisi.



Gambar 2.3. Skema aliran dalam pipa

Sumber : (Zainudin, 2012)

Untuk menganalisis kedua jenis aliran ini diberikan parameter tak berdimensi yang dikenal dengan nama bilangan *Reynolds* (Zainudin, 2012) sebagai berikut :

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.8.)$$

### 2.3. Persamaan Bernoulli

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida ( zat cair dan gas ) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran zat cair atau gas, akan mengakibatkan penurunan tekanan pada zat cair atau gas tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut.

Konsep dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan ( compressible flow ), juga pada fluida dengan aliran tak - termampatkan ( incompressible - flow ). Hukum Bernoulli sebetulnya dapat dikatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli. Secara matematis persamaan Bernoulli adalah sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_L \quad (2.9.)$$

### 2.4. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan hubungan antara kecepatan fluida yang masuk pada suatu pipa terhadap kecepatan fluida yang keluar. Hubungan tersebut dinyatakan dengan:

$$Q = A_1v_1 = A_2v_2 \quad (2.10.)$$

Debit adalah besaran yang menyatakan volume fluida yang mengalir tiap satuan waktu:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (2.11.)$$

### 2.5. Sistem Perpipaan

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo, 1996). Fluida yang di alirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer ( zat cair di dalam

pipa tidak penuh ), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan di permukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Aliran *viskos* adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan ( *viskositas* ). *Viskositas* terjadi pada temperature tertentu. Tabel 2.1. memberikan sifat air ( *viskositas* kinematik ) pada tekanan atmosfer dan beberapa temperature. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi

Tabel 2.1. Sifat air pada tekanan atmosfer

No.	Suhu (°C)	Density ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>	Viskositas Dinamik ( $\mu$ ) kg/m.s	Viskositas kinematik ( $\nu$ ) m <sup>2</sup> /s
1.	5	999,9	1,519 x 10 <sup>-3</sup>	1,520 x 10 <sup>-6</sup>
2.	10	999,7	1,307 x 10 <sup>-3</sup>	1,307 x 10 <sup>-6</sup>
3.	20	998,0	1,002 x 10 <sup>-3</sup>	1,002 x 10 <sup>-6</sup>
4.	25	997,0	0,891 x 10 <sup>-3</sup>	0,893 x 10 <sup>-6</sup>
5.	30	996,0	0,798 x 10 <sup>-3</sup>	0,802 x 10 <sup>-6</sup>
6.	40	992,1	0,653 x 10 <sup>-3</sup>	0,658 x 10 <sup>-6</sup>
7.	50	988,1	0,547 x 10 <sup>-3</sup>	0,554 x 10 <sup>-6</sup>
8.	60	983,3	0,467 x 10 <sup>-3</sup>	0,476 x 10 <sup>-6</sup>
9.	70	977,5	0,404 x 10 <sup>-3</sup>	0,413 x 10 <sup>-6</sup>
10.	80	971,8	0,355 x 10 <sup>-3</sup>	0,365 x 10 <sup>-6</sup>
11.	85	968,1	0,333 x 10 <sup>-3</sup>	0,342 x 10 <sup>-6</sup>

(Sumber: *Wibowo, 2013*)

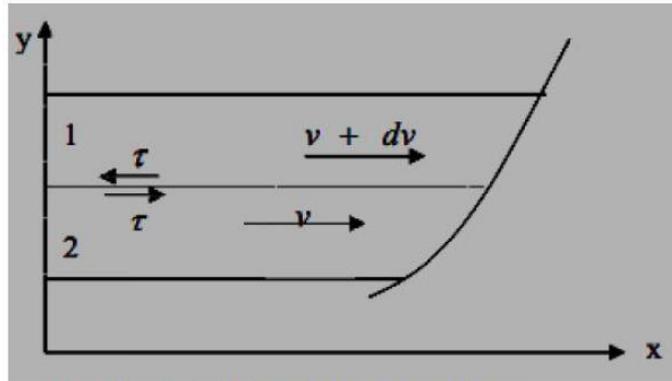
Aliran *viskos* dapat dibedakan menjadi 2 ( dua ) macam. Apabila pengaruh kekentalan ( *viskositas* ) adalah cukup dominan sehingga partikel - partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel - partikel zat cair bergerak secara tidak teratur.

## 2.6. Hukum Newton tentang Kekentalan

Kekentalan zat cair menyebabkan terbentuknya gaya - gaya geser antara 2 ( dua ) elemen. Keberadaan kekentalan ini menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran atau diperlukan energi untuk menjamin adanya pengaliran. Dalam ( *Triatmojo, 1996* ) tentang Hukum Newton tentang kekentalan

menyatakan bahwa tegangan geser antara 2 ( dua ) partikel zat cair yang berdampingan adalah sebanding dengan perbedaan kecepatan dari kedua partikel ( gradien kecepatan ) seperti terlihat dalam Gambar 2.4. yang berbentuk:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.12.)$$



Gambar 2.4. Definisi tegangan geser (Wibowo, 2013)

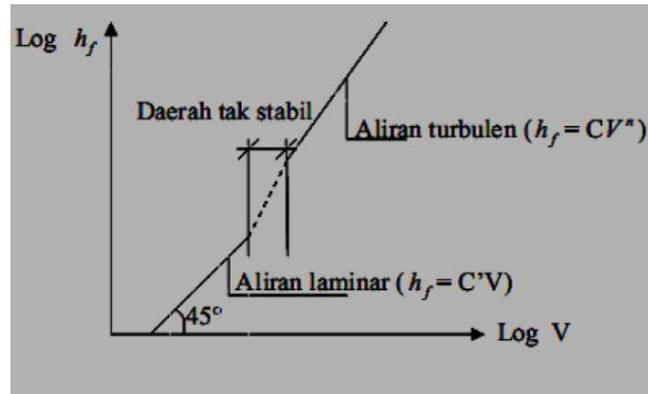
Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.12. dan Gambar 2.4. apabila 2 ( dua ) elemen zat cair yang berdampingan dan bergerak dengan kecepatan berbeda, elemen yang lebih cepat akan diperlambat dan yang lebih lambat akan dipercepat. Tegangan geser  $\tau$  pada lapis 1 ( satu ) bagian bawah mempunyai arah ke kiri karena bagian tersebut tertahan oleh lapis di bawahnya yang mempunyai kecepatan lebih rendah. Sedangkan lapis 2 ( dua ) bagian atas bekerja tegangan geser dalam arah ke kanan karena bagian tersebut tertarik oleh lapis di atasnya yang mempunyai kecepatan lebih besar.

Pada permukaan antara dinding batas dan aliran zat cair juga terjadi tegangan geser dengan arah berlawanan dengan arah aliran. Tegangan geser pada dinding batas ini cukup besar karena gradien kecepatan di daerah tersebut sangat besar.

## 2.7. Hukum Tekanan Gesek

Dalam (Triatmojo, 1996) *Reynolds* menetapkan hukum tekanan gesek dengan melakukan pengukuran kehilangan energi di dalam beberapa pipa dengan panjang berbeda dan untuk berbagai kecepatan aliran. Percobaan tersebut memberikan hasil berupa suatu grafik hubungan antara *head losses* (  $hf$  ) dan

kecepatan aliran ( $v$ ). Gambar 2.5. menunjukkan kedua hubungan tersebut yang dibuat dalam skala logaritmik untuk diameter tertentu. (Wibowo, 2013)



Gambar 2.5. Grafik *head losses* – kecepatan

Bagian bawah dari Gambar 2.5. merupakan garis lurus, dengan kemiringan  $45^\circ$ , yang menunjukkan bahwa  $hf$  sebanding dengan  $v$ , yang merupakan sifat aliran laminar. Sedang bagian atas merupakan garis lurus dengan kemiringan  $n$ , dengan  $n$  antara 1,75 dan 2,0 yang tergantung pada nilai  $Re$  dan kekasaran. Hal ini menunjukkan bahwa  $hf$  sebanding dengan nilai  $v$ , nilai pangkat yang besar berlaku untuk pipa kasar sedang yang kecil untuk pipa halus. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kehilangan energi pada aliran turbulen lebih besar dari aliran laminar. Hal ini disebabkan karena adanya *turbulensi* yang dapat memperbesar kehilangan energi.

## 2.8. Minor Losses

Untuk setiap sistem pipa, selain kerugian tipe moody yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang dinamakan kerugian kecil (kerugian minor).

Kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada katup-katup, sambungan Tee, sambungan belokan, dan pada luas penampang yang tidak konstan.

Karena pola aliran dalam katup maupun sambungan cukup rumit, teorinya sangat lemah. Kerugian ini biasanya diukur secara eksperimental dan dikorelasikan dengan parameter – parameter aliran dalam pipa. Kerugian kecil terukur biasanya diberikan sebagai nisbah kerugian hulu.

Belokan pada pipa menghasilkan kerugian *head* yang lebih besar dari pada jika pipa lurus. Kerugian – kerugian tersebut disebabkan daerah – daerah aliran yang terpisah didekat sisi dalam belokan ( khususnya jika belokan tajam ) dan aliran sekunder yang berpusar karena ketidakseimbangan gaya – gaya sentripetal akibat kelengkungan sumbu pipa.

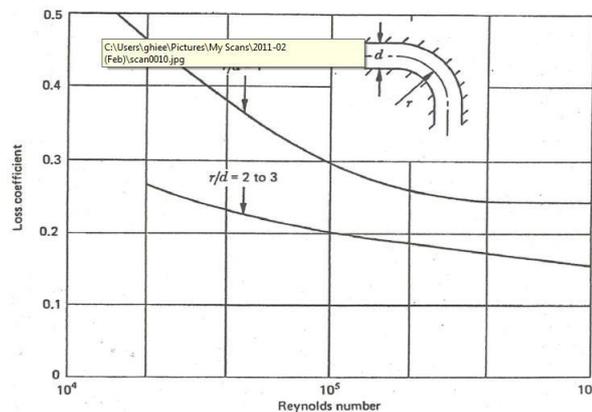
Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung dan belokan patah ( *mitten* atau *multipiece bend* ). Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus *Fuller* (Sularso, 1983), dimana nilai dari koefisien kerugian dinyatakan sebagai :

$$k_{kb} = \left[ 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \quad (2.13.)$$

Kemudian untuk mengetahui kerugian *head* dapat menggunakan persamaan dibawah ini (Zainudin, 2012) :

$$H_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.14.)$$

Berikut ini adalah gambar kerugian belokan tambahan, dimana terjadi variasi koefisien kerugian karena pengaruh bilangan *Reynolds*nya. Sebagaimana terlihat pada gambar 2.6. perbandingan jari – jari belokan dengan diameter (  $r/d$  ) juga mempengaruhi besar kerugiannya.



Gambar 2.6. Efek bilangan *Reynolds* terhadap koefisien kerugian pada *elbow* 90 (Wibowo, 2013)

## 2.9. Hubungan *Head Loss* Dengan Kerugian Energi

Istilah *head loss* muncul sejak diawalinya percobaan – percobaan hidrolika abad ke 19, yang sama dengan energi per-satuan berat fluida. Menurut

(Triadmojo, 1961), Kerugian energi (*head loss*) adalah hilangnya energi persatuan berat fluida. Sehingga satuan *head loss* adalah satuan panjang (meter) yang setara dengan satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan berat fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian. Maka *head loss* dapat disimpulkan sebagai kerugian energi yang terjadi pada aliran fluida. Kerugian energi (*head loss*) bergantung pada :

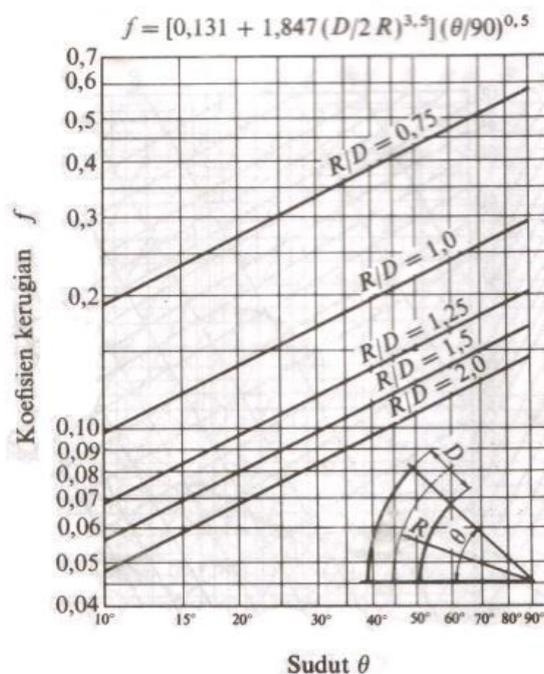
1. Bentuk, ukuran dan kekasaran saluran
2. Kecepatan fluida
3. Kekentalan / viskositas
4. Tapi sama sekali tidak dipengaruhi oleh tekanan absolut (Pab) dari fluida

#### 2.10. Koefisien kerugian pada belokan pipa

Ada dua macam belokan pipa yaitu belokan lengkung dan belokan patah. Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus *Fuller* dimana  $k$  pada persamaan (2.15.) dinyatakan sebagai berikut (Sularso dan Haruo Tahara, 2000).

$$k = \left[ 0,131 + 1,847 \left( \frac{D_b}{2R} \right)^{3,5} \right] \left[ \frac{\theta}{90} \right]^{0,5} \quad (2.15.)$$

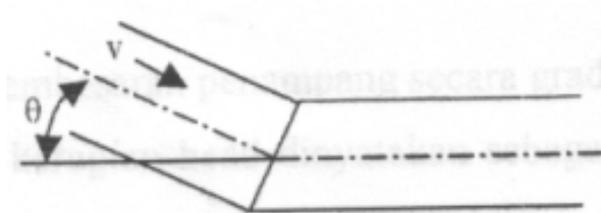
Hubungan di atas di lihatkan dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7. koefisien kerugian pada belokan (Zainudin, 2012)

Dari percobaan *Weisbach* dihasilkan rumus yang umum dipakai untuk belokan patah sebagai berikut (Sularso dan Haruo Tahara, 2000).

$$k = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (2.16.)$$



Gambar 2.8. Bentuk belokan patah pipa  
(Zainudin, 2012)

### 2.11. Pengertian Simulasi

Simulasi adalah suatu cara untuk menduplikasi / menggambarkan ciri, tampilan, dan karakteristik dari suatu sistem nyata. Ide awal dari simulasi adalah untuk meniru situasi dunia nyata secara matematis, kemudian mempelajari sifat dan karakter operasionalnya, dan akhirnya membuat kesimpulan dan membuat keputusan berdasarkan hasil dari simulasi. Dengan cara ini sistem di dunia nyata tidak tersentuh / diubah sampai keuntungan dan kerugian dari apa yang menjadi kebijakan utama suatu keputusan diujicobakan dalam sistem model.

### 2.12. Pengertian Numerik

Numerik atau biasa dikenal sebagai metode numerik adalah teknik – teknik yang digunakan untuk memformulasikan masalah matematis agar dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan.

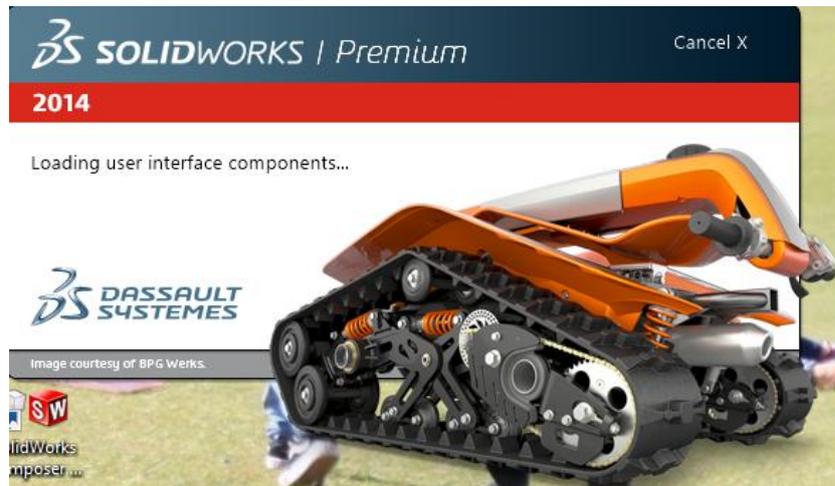
### 2.13. Pengertian Simulasi Numerik

Simulasi nimerik adalah simulasi yang dilakukan dengan menggunakan suatu teknik numerik untuk melakukan percobaan, yang melibatkan bentuk – bentuk fungsi matematika dan logika tertentu untuk menjelaskan tingkah laku dan struktur suatu sistem nyata yang kompleks. Simulasi numerik dapat digunakan untuk merancang, menganalisa, dan menilai suatu sistem.

## 2.14. Solidworks

Program *Solidworks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, waktu market dari benda pun dapat dipercepat. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga. Parameter mengacu pada kendala yang nilainya menentukan bentuk atau geometri dari model atau perakitan. Parameter dapat berupa parameter numerik, seperti panjang garis atau diameter lingkaran, atau parameter geometris, tangen paralel, paralel konsentris, horizontal atau vertikal, parameter (Prabowo, 2009).

Program ini relatif lebih mudah digunakan dibandingkan program-program sejenisnya. Selain digunakan untuk menggambar komponen 3D, *Solidworks* juga biasa digunakan untuk menggambar 2D dari komponen tersebut dan bisa dikonversi ke format dwg yang dapat dijalankan pada program CAD. Dibawah ini adalah contoh gambar tampilan dari *Solidworks* 2014



Gambar 2.9. Tampilan awal *Solidworks* 2014

*Solidworks* merupakan *software* yang digunakan untuk membuat produk dari yang sederhana sampai yang rumit. *File* dari *Solidworks* ini bisa diekspor ke *software* analisis seperti *Ansys* dan *FLOVENT*. Desain yang telah dibuat dapat juga dianalisis dan disimulasikan sesuai keinginan. Tampilan *Solidworks* tidak jauh berbeda dengan tampilan *software* lainya dan *Solidworks* menyediakan 3 template utama yaitu:

- a) *Part* adalah sebuah object 3D yang terbentuk dari *feature–feature*. Sebuah *part* bisa menjadi sebuah komponen pada suatu *assembly*, dan juga bisa digambarkan dalam bentukan 2D pada sebuah *drawing*. *Feature* adalah bentukan dan operasi–operasi yang membentuk *part*. *Base feature* merupakan *feature* yang pertama kali dibuat. *Extension file* untuk *part Solidworks* adalah SLDPRT.
- b) *Assembly* adalah sebuah dokumen dimana *part, feature* dan *assembly* lain ( *subassembly* ) dipasangkan/disatukan bersama. *Extension file* untuk *Solidworks Assembly* adalah SLDASM.
- c) *Drawing* adalah tempat yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2D/3D *engineering Drawing* dari *single component* ( *part* ) maupun *Assembly* yang sudah kita buat. *Extension file* untuk *Solidworks Drawing* adalah SLDDRW.

#### 2.15. Komputasi Dinamika Fluida

Komputasi Dinamika Fluida atau *Computational Fluid Dynamics* ( *CFD* ) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi pola aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan – persamaan matematika atau model matematika.

Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Navier – Stokes, persamaan ini ditemukan oleh G.G Stokes di Inggris dan M. Navier di Prancis sekitar awal tahun 1800. Adapun persamaan – persamaannya adalah sebagai berikut (Yunus A. Cengel dan Jhon M. Cimbala. 2006)

##### a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0 \tag{2.17.}$$

##### b. Persamaan Momentum

Momentum pada sumbu X :

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho uw)}{\partial z} =$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.18.)$$

Momentum pada sumbu Y :

$$\frac{\partial \langle v \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle uv \rangle}{\partial x} + \frac{\partial \langle v^2 \rangle}{\partial y} + \frac{\partial \langle vw \rangle}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (2.19.)$$

Momentum pada sumbu Z :

$$\frac{\partial \langle w \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle uw \rangle}{\partial x} + \frac{\partial \langle vw \rangle}{\partial y} + \frac{\partial \langle w^2 \rangle}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (2.20.)$$

c. Persamaan Energi

$$\frac{\partial \langle E_r \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle E_r \rangle}{\partial x} + \frac{\partial \langle E_r \rangle}{\partial y} + \frac{\partial \langle E_r \rangle}{\partial z} = -\frac{\partial \langle u \rangle}{\partial x} - \frac{\partial \langle v \rangle}{\partial y} - \frac{\partial \langle w \rangle}{\partial z} - \frac{1}{\text{Re}_r \text{Pr}_r} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{\text{Re}_r} \left( \frac{\partial}{\partial x} \langle \tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz} \rangle + \frac{\partial}{\partial y} \langle \tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz} \rangle + \frac{\partial}{\partial z} \langle \tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz} \rangle \right) \quad (2.21.)$$

Pada dasarnya *CFD* mengganti persamaan – persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan – persamaan aljabar. Persamaan yang asalnya kontinum ( memiliki jumlah sel tak terhingga ) diubah menjadi model distrik ( jumlah sel terhingga ).

Ada tiga teknik solusi numerik ( metode diskritisasi ) aliran yang berbeda, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume methods*. Metode diskritisasi dipilih pada umumnya untuk menentukan kestabilan dari program numerik / *CFD* yang dibuat atau program *software* yang ada. Beberapa metode diskritisasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan – persamaan diferensial parsial, diantaranya adalah (H. K. Versteeg dan W. Malalasekera, 1995) :

a. Metode Beda Hingga ( *finite difference method* )

Dalam metode ini area aliran dipisahkan menjadi satu set poin grid dan fungsi kontinu ( kecepatan, tekanan, dan lainnya ) didekati dengan nilai – nilai diskrit dan fungsi – fungsi ini dihitung pada titik – titik *grid*. Turunan dari didekati dengan menggunakan percobaan antara lain nilai fungsi pada titik lokal *grid* dibagi dengan jarak *grid*.

b. Metode Elemen Hingga ( *finite element method* )

Metode ini membagi masalah besar menjadi lebih kecil dan sederhana yang disebut elemen hingga. Persamaan sederhana yang memodelkan seluruh kasus kemudian disusun menjadi sebuah sistem persamaan yang lebih luas. Persamaan konservasi kekekalan massa, momentum, dan energi ditulis dalam bentuk yang tepat untuk setiap elemen, dan hasil set persamaan aljabar untuk bidang aliran diselesaikan secara numerik.

c. Metode Volume Hingga ( *finite volume method* )

*Finite volume method* adalah metode untuk mewakili dan mengevaluasi persamaan diferensial parsial dalam bentuk aljabar. Metode ini sama seperti *finite difference method* dan *finite element method*, nilai – nilai dihitung di tempat terpisah pada geometri yang di *mesh*. Metode ini mengacu pada volume kecil di sekitar *node* pada *mesh*. Dalam metode ini, volume integral dalam persamaan diferensial yang memiliki istilah divergensi dikonversi ke *surface integrals* menggunakan teori divergensi.

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Tempat dan Waktu

#### 3.1.1. Tempat

Tempat dilaksanakannya kegiatan penelitian yaitu di Laboratorium Komputer Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan, 20238

#### 3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai sejak tanggal disahkannya usulan judul penelitian oleh ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan dikerjakan selama kurang lebih 4 bulan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Waktu (bulan)				
		1	2	3	4	5
1.	Pengajuan Judul	■				
2.	Studi Literatur	■	■			
3.	Desain Aliran		■			
4.	Pelaksanaan Simulasi		■	■		
5.	Mengamati Hasil			■		
6.	Pengolahan Data			■	■	
7.	Seminar dan Sidang				■	■

### 3.2. Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Komputer

Dikarenakan nantinya simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Solidworks*, maka alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu komputer. Komputer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komputer milik laboratorium komputer Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun spesifikasinya yaitu sebagai berikut :

- Prosesor Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1246 v3 @3.50Ghz 3.50Ghz
- Memori 8.00 GB
- Sistem Operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.1. Komputer Laboratorium komputer Fakultas Teknik UMSU

## 2. Perangkat Lunak Solidwoks 2014

Program *Solidwoks* merupakan program komputer yang berfungsi untuk melakukan analisa kekuatan. Program tersebut dapat membantu kita dalam membuat desain. Dengan demikian, selain biaya yang dikeluarkan berkurang, waktu market dari benda pun dapat dipercepat. *Solidworks* dibuat dengan berdasarkan pada teori yang terdapat dalam perumusan metode elemen hingga.

Spesifikasi minimum untuk menjalankan perangkat lunak *solidworks* 2014 :

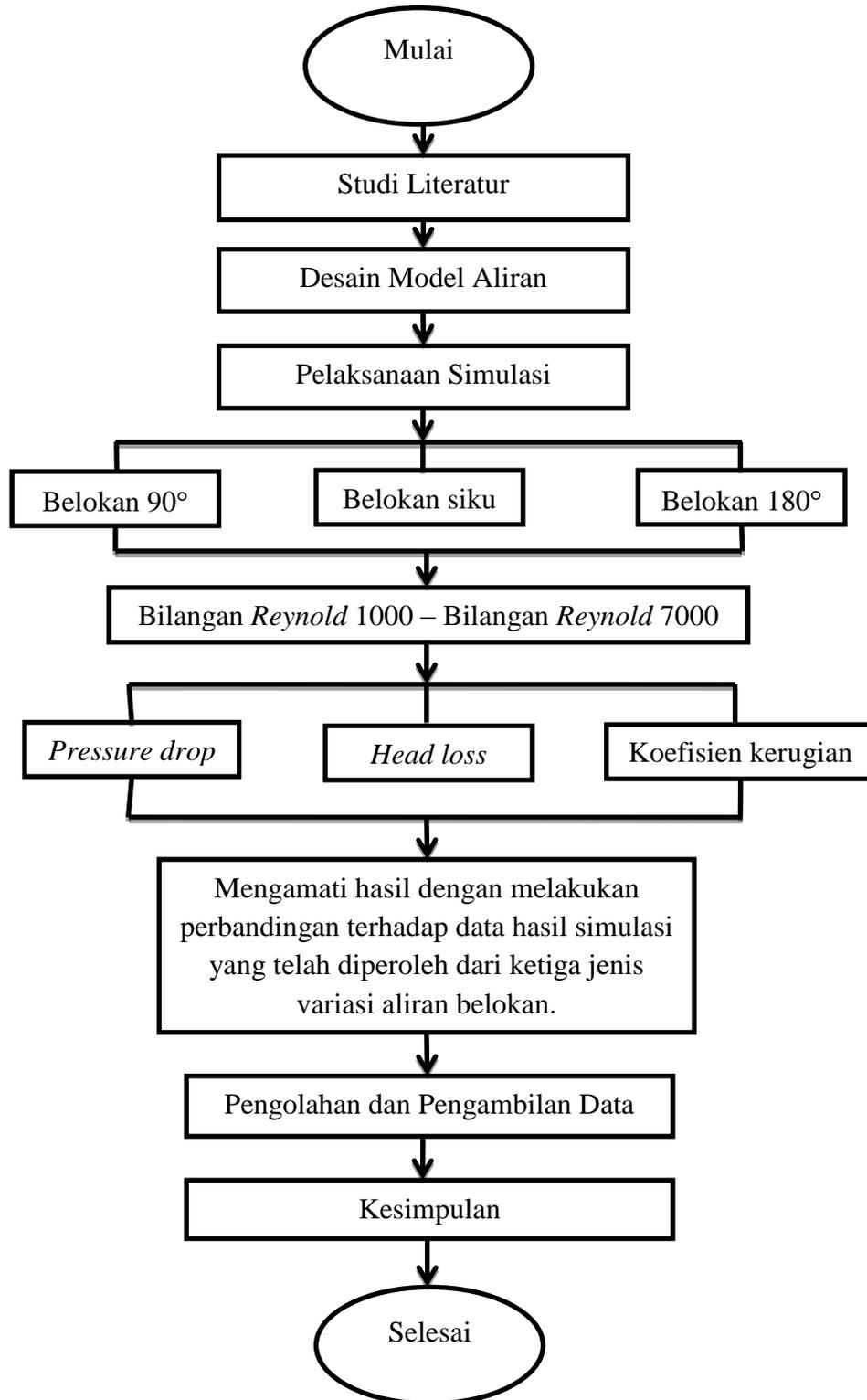
- Prosesor Intel atau AMD dengan SSE2 support
- Memori 8.00 GB
- Sistem operasi Windows 7 64-bit



Gambar 3.2. Perangkat lunak *solidworks* 2014

### 3.3. Bagan Alir Penelitian

Berikut ini adalah proses dilakukannya penelitian yang dapat dilihat pada bagan alir dibawah ini :



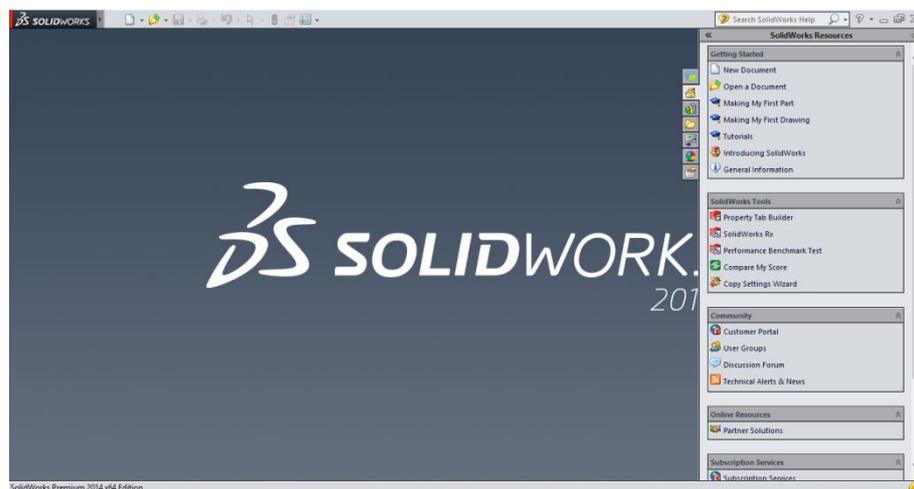
Gambar 3.3. Bagan alir penelitian

### 3.4. Rancangan Simulasi Penelitian

Simulasi penelitian menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2014. Model aliran fluida yang akan dirancang adalah aliran dengan tiga jenis variasi belokan yaitu aliran dengan belokan radius 90°, aliran dengan belokan siku, dan aliran dengan belokan 180°. Dalam simulasi ini menggunakan pipa dengan standart ukuran *solidworks* 2014 dengan diameter dalam 26,77 mm dan diameter luar 33,53 mm

Adapun langkah – langkah yang dilakukan dalam merancang model aliran fluida yaitu sebagai berikut :

1. Nyalakan komputer yang akan digunakan untuk merancang desain simulasi.
2. Buka *software solidworks* 2014 pada komputer



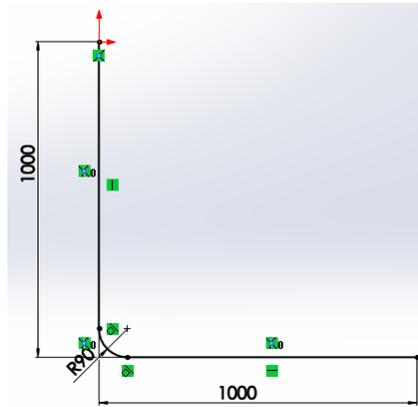
Gambar 3.4. Tampilan awal *solidworks* 2014

3. pilih “*new document*” pada bagian kanan tampilan *solidworks* 2014, kemudian pilih “*part*” dan pilih “ok”
4. Pilih menu “*sketch*” pada bagian kiri atas tampilan kemudian pilih “*top plane*”
5. Membuat desain aliran

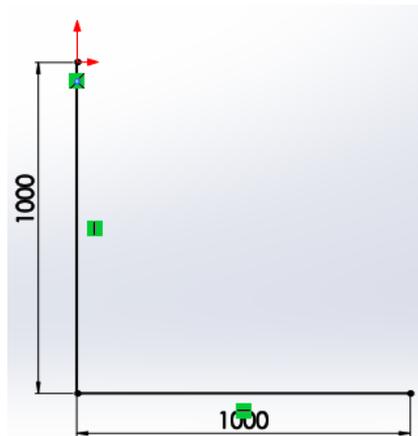
Desain aliran pipa simulasi memiliki ukuran sebagai berikut :

- Diameter luar : 33,53 mm
- Diameter dalam : 26,77 mm
- Panjang pipa aliran : 2 m

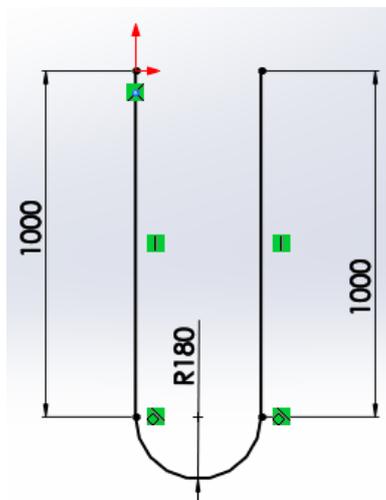
- Radius belokan :  $90^\circ$
- Radius belokan :  $180^\circ$
- Aliran dengan belokan siku
- Menggunakan pipa berbahan tembaga



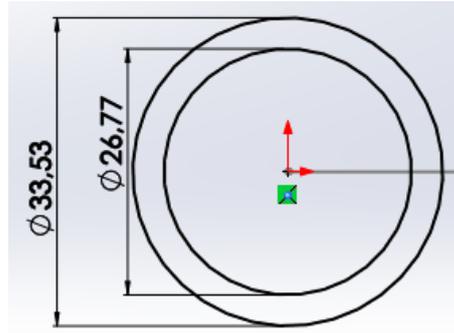
Gambar 3.5. Ukuran model aliran simulasi pada pipa radius  $90^\circ$



Gambar 3.6. Ukuran model aliran simulasi pada pipa siku

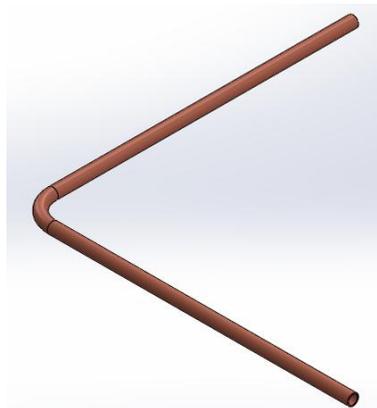


Gambar 3.7. Ukuran model aliran simulasi pada pipa radius  $180^\circ$

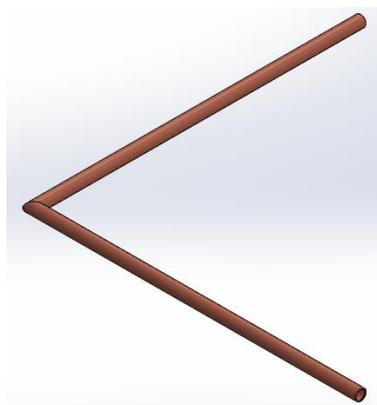


Gambar 3.8. Ukuran diameter pipa aliran

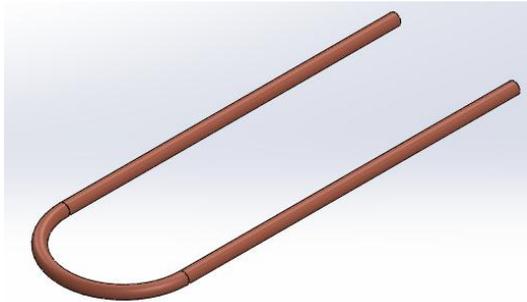
6. Setelah desain ukuran aliran fluida dibuat, pilih “*features*” kemudian pilih “*swept boss / base*”



Gambar 3.9. Desain pipa aliran setelah di *swept boss / base* pada pipa radius 90°



Gambar 3.10. Desain pipa aliran setelah di *swept boss / base* pada pipa siku



Gambar 3.11. Desain pipa aliran setelah di *swept boss / base* pada pipa radius 180°

### 3.5. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur / langkah – langkah yang dilakukan dalam menjalankan simulasi pengujian aliran adalah sebagai berikut :

1. Pilih “*flow simulation*” yang ada pada menu bar pada *software solidworks* 2014
2. Pilih menu “*wizard*” yang ada pada bagian sudut kiri atas tampilan
3. Pilih jenis fluida yang akan disimulasikan ( dalam penelitian ini menggunakan fluida berupa air dengan suhu 25°C / 298°K )
4. Masukkan nilai *roughness* atau nilai kekasaran permukaan pipa ( dalam penelitian ini menggunakan pipa berbahan tembaga dengan nilai kekasaran permukaan 1,5 micrometer )

Tabel 3.2. Nilai kekasaran permukaan pipa (  $\epsilon$  )

No.	Material	ft	m
1.	<i>Riveted steel</i>	0,003 – 0,03	0,0009 – 0,009
2.	<i>Concrete</i>	0,001 – 0,01	0,0003 – 0,003
3.	<i>wood stave</i>	0,0006 – 0,003	0,0002 – 0,0009
4.	<i>Cast iron</i>	0,00085	0,00026
5.	<i>Galvanized iron</i>	0,0005	0,00015
6.	<i>Asphalted cast iron</i>	0,0004	0,0001
7.	<i>Commerial steel or wrought iron</i>	0,00015	0,000046
8.	<i>Drawn brass or copper tubing</i>	0,000005	0,0000015
9.	<i>Glass and plastic</i>	“smooth”	“smooth”

5. Masukkan temperatur masuk fluida
6. Pilih menu “*boundary conditions*” yang ada pada bagian kiri tampilan

kemudian masukkan data pengujian berupa kecepatan masuk aliran fluida dan klik pada bagian pipa mana fluida akan masuk. Kemudian pilih *environment pressure* yang bertujuan sebagai arah jalur keluar aliran dan klik pada bagian pipa mana fluida akan keluar nantinya. ( dalam penelitian ini pengujian dilakukan mulai dari bilangan reynold (Re) 1000 – bilangan reynold (Re) 7000 )

7. Pilih menu “*goals*” yang juga berada pada bagian kiri tampilan yang bertujuan untuk memilih capaian / hasil yang berupa data yang diinginkan dalam pengujian ( dalam penelitian ini berupa *total pressure* )
8. Untuk menjalankan simulasi pilih menu “*Run*” yang ada pada bagian atas menu bar
9. Tunggu hingga *iteration* selesai
10. Setelah simulasi selesai, pilih menu “*result*” yang ada pada bagian kiri tampilan lalu pilih “*flow trajectories*” setelah itu *insert* / masukkan bagian masuk aliran
11. Tunggu beberapa detik maka hasil simulasi pun ditampilkan yang berupa data – data yang kita inginkan
12. Pilih menu “*cut plot*” untuk menampilkan warna yang bervariasi pada aliran yang melambangkan data – data hasil simulasi aliran
13. Lakukan prosedur yang sama mulai dari bilangan reynold (Re) 1000 – bilangan reynold (Re) 7000
14. Lakukan pada aliran belokan radius 90°, aliran belokan siku, dan aliran dengan belokan radius 180°
15. Selesai

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Simulasi

Dalam penelitian ini, simulasi kerugian aliran yang dilakukan menggunakan 3 jenis variasi belokan yaitu pipa dengan belokan 90°, pipa dengan belokan siku, dan pipa dengan belokan 180° dengan masing – masing 7 ( tujuh ) simulasi pada setiap variasi belokan. Ketujuh simulasi tersebut berupa aliran dengan nilai bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2014.

#### 4.1.1. Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan 90°

Simulasi dilakukan sebanyak 7 ( tujuh ) kali percobaan, yaitu dimulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nantinya, nilai yang divariasikan kedalam simulasi yaitu nilai kecepatan masuk fluida mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 dengan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (4.1.)$$

##### 4.1.1.1. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 1000

Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan *reynold* (Re) 1000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( *v* ) yaitu sebesar 0,033 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

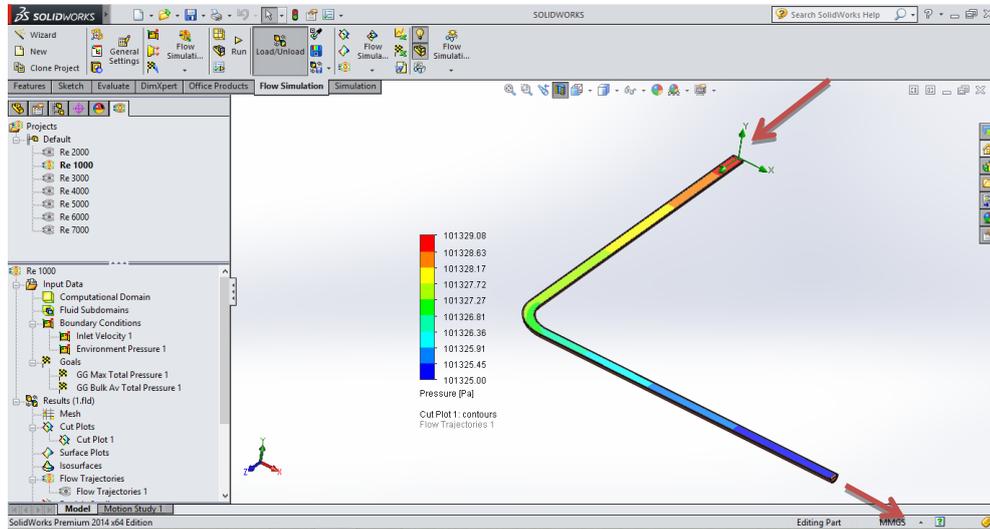
$$\begin{aligned} Re &= \frac{vd}{\nu} \\ 1000 &= \frac{v \cdot 0,02677m}{0,893 \times 10^{-6} m^2 / s} \end{aligned}$$

$$1000 = v \cdot 29977,6m / s$$

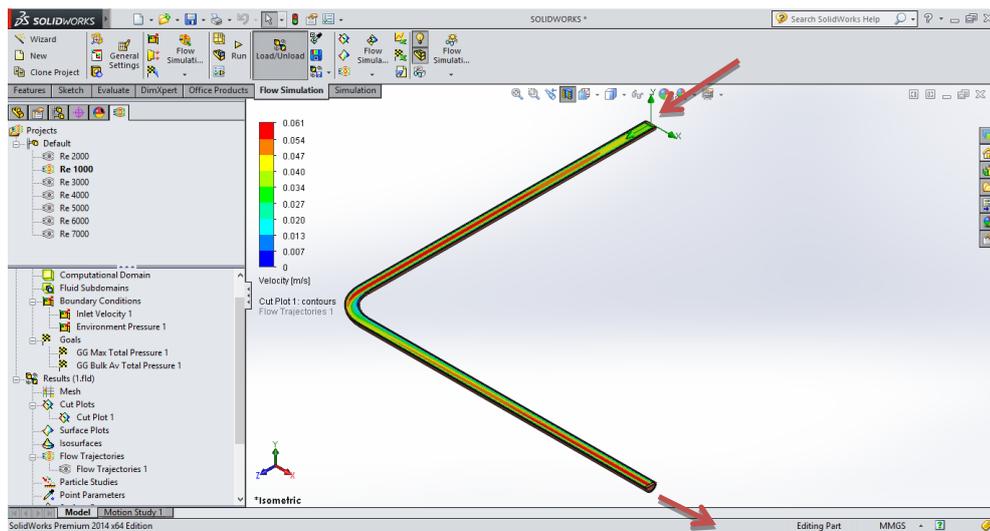
$$1000 / 29977,6 = v$$

$$0,033m / s = v$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “inlet velocity” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah visualisasi aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.1. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.2. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101329,08 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun drastis sesaat setelah melewati belokan pipa. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 90° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu

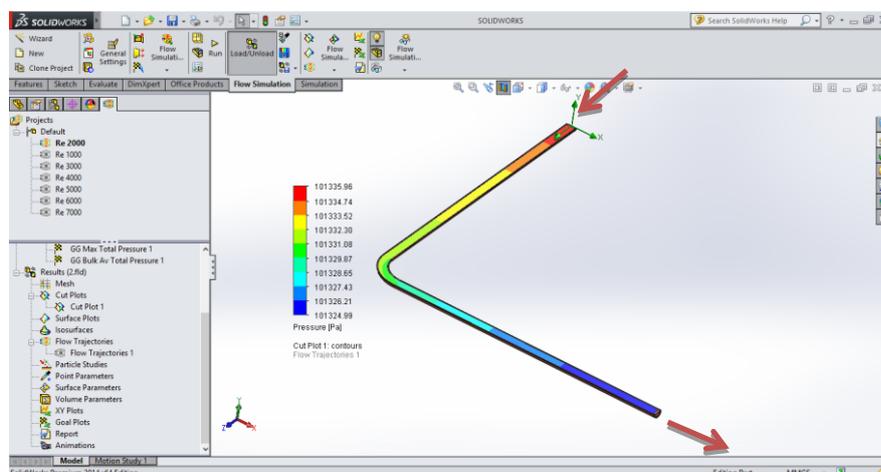
bergejolak dan alirannya bertambah cepat walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

#### 4.1.1.2. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 2000

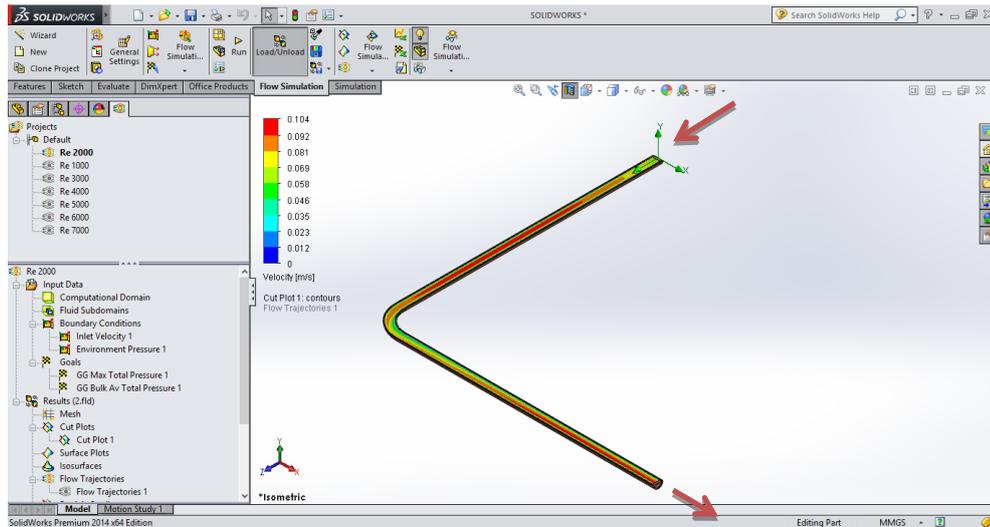
Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan *reynold* (Re) 2000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( v ) yaitu sebesar 0,067 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{vd}{\nu} \\ 2000 &= \frac{v \cdot 0,02677\text{m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}} \\ 2000 &= v \cdot 29977,6 / \text{s} \\ 2000 / 29977,6 &= v \\ 0,067\text{m} / \text{s} &= v \end{aligned}$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “*inlet velocity*” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah *visualisasi* aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.3. *Visualisasi* aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.4. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101335,96 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun drastis sesaat setelah melewati belokan pipa. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 90° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak dan alirannya bertambah cepat walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

#### 4.1.1.3. Pada Bilangan Reynold (Re) 3000

Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan reynold (Re) 2000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan (  $v$  ) yaitu sebesar 0,1001 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu}$$

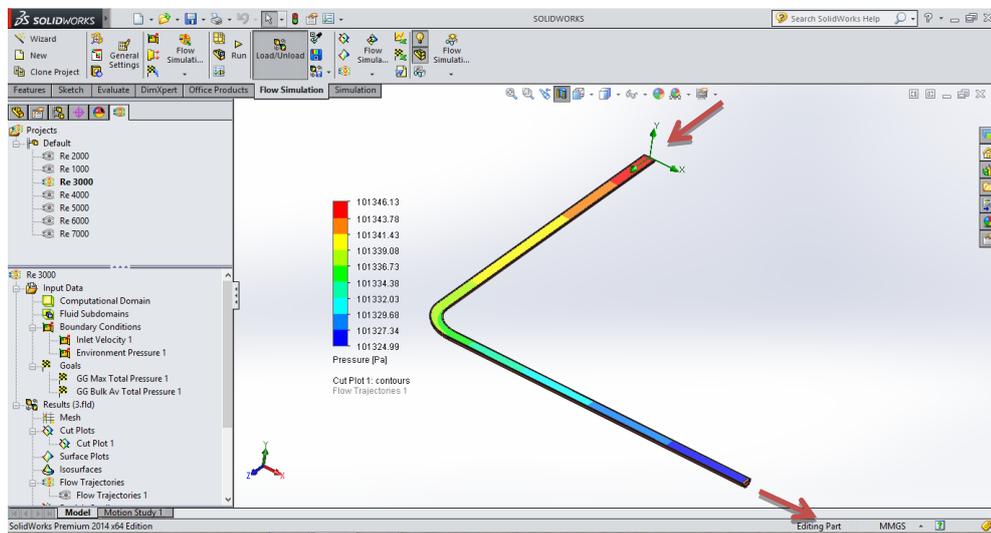
$$3000 = \frac{v \cdot 0,02677\text{m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}}$$

$$3000 = v \cdot 29977,6 \text{m} / \text{s}$$

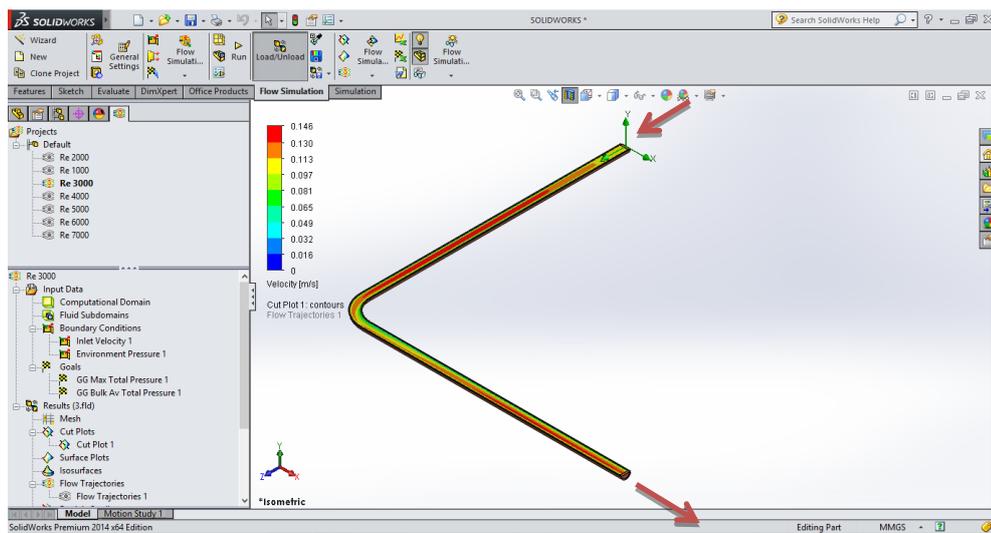
$$3000 / 29977,6 = v$$

$$0,1001 \text{m} / \text{s} = v$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “inlet velocity” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah visualisasi aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.5. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.6. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101346,13 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun drastis sesaat setelah melewati belokan pipa. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 90° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak dan alirannya bertambah cepat walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

Tabel 4.1. Data hasil simulasi pada pipa belokan 90°

Simulasi	Re	v Awal (m/s)	P <sub>1</sub> / P <sub>in</sub> (Pa)	P <sub>2</sub> / P <sub>out</sub> (Pa)	v <sub>1</sub> / v <sub>in</sub> (m/s)	v <sub>2</sub> / v <sub>out</sub> (m/s)
1.	1000	0,033	101329,02	101325,00	0,033	0,058
2.	2000	0,067	101335,80	101325,00	0,067	0,091
3.	3000	0,1001	101345,84	101325,00	0,100	0,129
4.	4000	0,133	101358,63	101325,00	0,133	0,167
5.	5000	0,167	101370,83	101325,00	0,167	0,204
6.	6000	0,2001	101383,20	101325,00	0,200	0,240
7.	7000	0,234	101395,49	101325,01	0,234	0,275

#### 4.1.2. Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan Siku

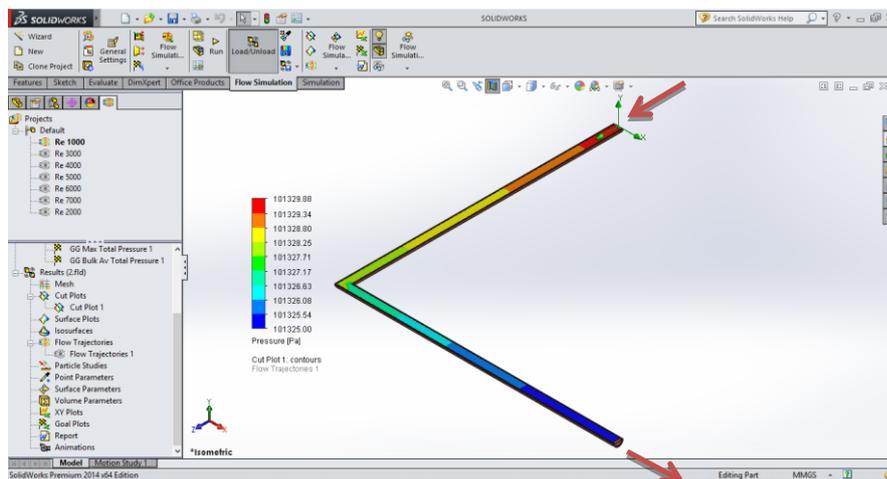
Simulasi dilakukan sebanyak 7 ( tujuh ) kali percobaan, yaitu dimulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nantinya, nilai yang divariasikan kedalam simulasi yaitu nilai kecepatan masuk fluida mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 dengan perhitungan menggunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ).

##### 4.1.2.1. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 1000

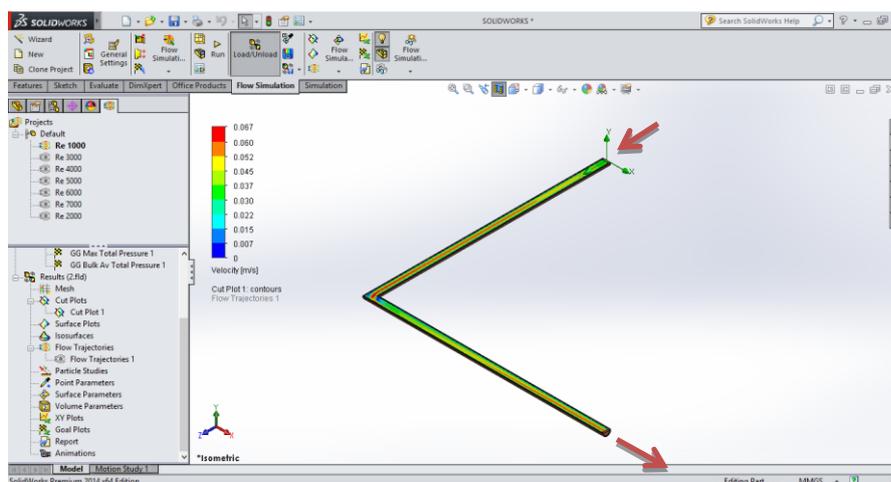
Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan *reynold* (Re) 1000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( v ) yaitu sebesar 0,033 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{vd}{\nu} \\
 1000 &= \frac{v \cdot 0,02677\text{m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}} \\
 1000 &= v \cdot 29977,6 / \text{s} \\
 1000 / 29977,6 &= v \\
 0,033\text{m} / \text{s} &= v
 \end{aligned}$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “inlet velocity” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah visualisasi aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.7. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.8. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

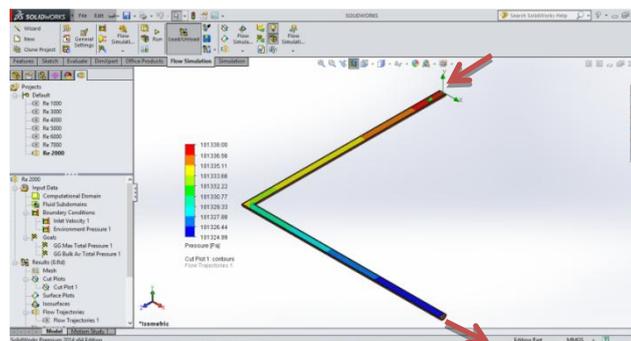
Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101329,88 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik namun cenderung stabil sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya pun naik drastis pada saat melewati belokan siku. Hal tersebut terjadi dipengaruhi oleh faktor belokan siku yang tajam sehingga terjadi penyempitan penampang aliran yang cukup drastis. Setelah melewati belokan siku, kecepatannya pun terlihat kembali stabil dan cenderung naik namun tidak terlalu signifikan. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

#### 4.1.2.2. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 2000

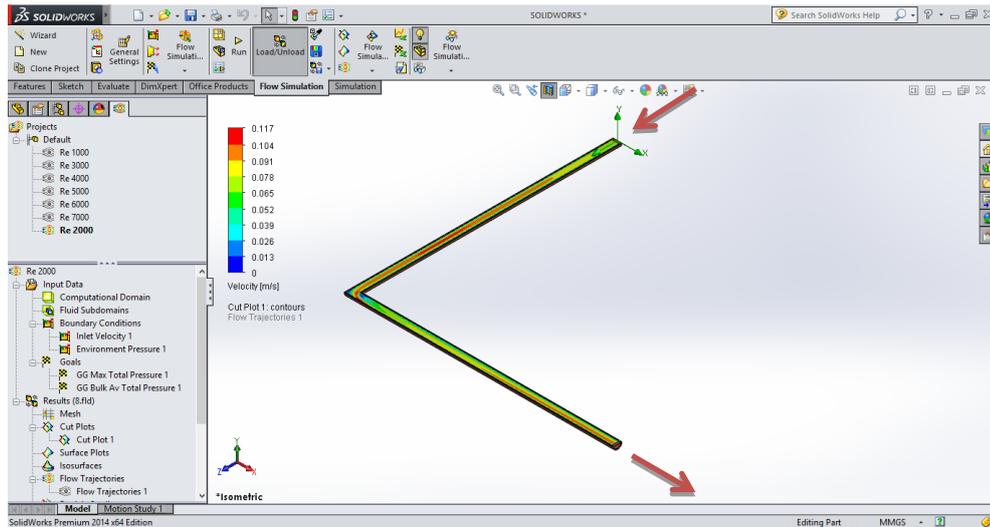
Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan reynold (Re) 1000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( v ) yaitu sebesar 0,067 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{vd}{\nu} \\
 2000 &= \frac{v \cdot 0,02677m}{0,893 \times 10^{-6} m^2 / s} \\
 2000 &= v \cdot 29977,6m / s \\
 2000 / 29977,6 &= v \\
 0,067m / s &= v
 \end{aligned}$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “*inlet velocity*” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah *visualisasi* aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.9. *Visualisasi* aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.10. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101338,00 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik namun cenderung stabil sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya pun naik drastis pada saat melewati belokan siku. Hal tersebut terjadi dipengaruhi oleh faktor belokan siku yang cukup tajam sehingga terjadi penyempitan penampang aliran yang cukup drastis. Setelah melewati belokan siku, kecepatannya pun terlihat kembali stabil dan cenderung naik namun tidak terlalu signifikan. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

#### 4.1.2.3. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 3000

Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan *reynold* (Re) 1000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan (  $v$  ) yaitu sebesar 0,1001 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu}$$

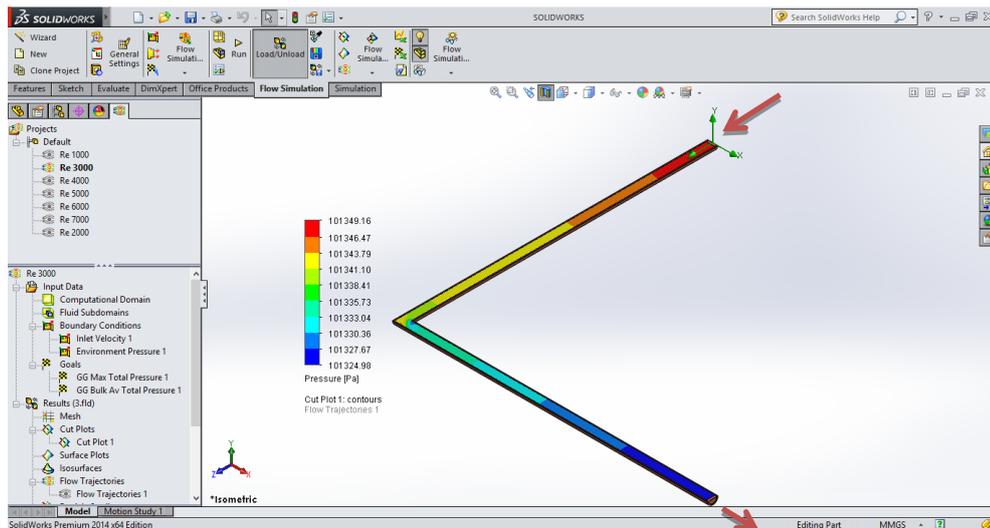
$$3000 = \frac{v \cdot 0,02677\text{m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$3000 = v \cdot 29977,6 \text{ m/s}$$

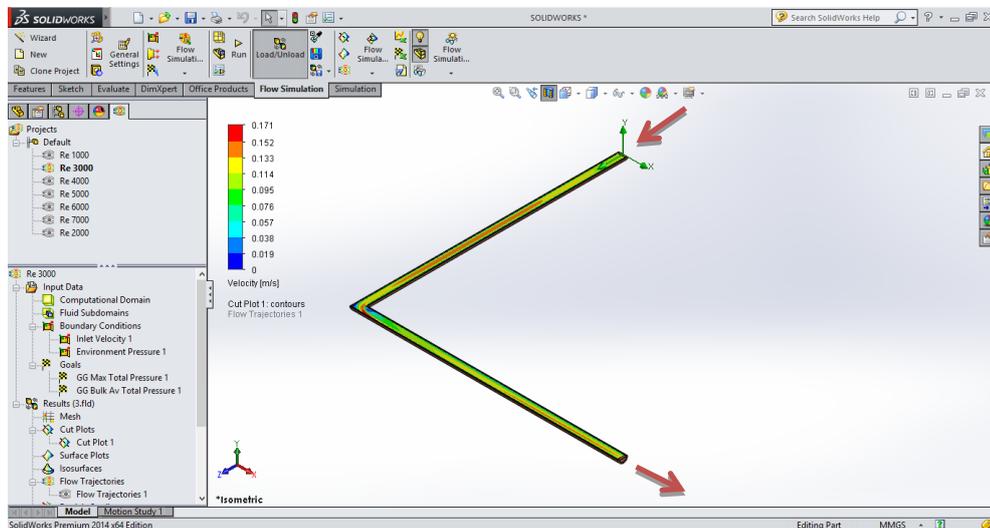
$$3000 / 29977,6 = v$$

$$0,1001 \text{ m/s} = v$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “inlet velocity” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah visualisasi aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.11. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.12. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101349,16 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik namun cenderung stabil sebelum melewati belokan

pipa, dan kecepatannya pun naik drastis pada saat melewati belokan siku. Hal tersebut terjadi dipengaruhi oleh faktor belokan siku yang cukup tajam sehingga terjadi penyempitan penampang aliran yang cukup drastis. Setelah melewati belokan siku, kecepatannya pun terlihat kembali stabil dan cenderung naik namun tidak terlalu signifikan. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

Tabel 4.2. Data hasil simulasi pada pipa belokan siku

Simulasi	Re	v Awal (m/s)	P <sub>1</sub> / P <sub>in</sub> (Pa)	P <sub>2</sub> / P <sub>out</sub> (Pa)	v <sub>1</sub> / v <sub>in</sub> (m/s)	v <sub>2</sub> / v <sub>out</sub> (m/s)
1	1000	0,033	101329,82	101325,00	0,033	0,056
2	2000	0,067	101337,84	101325,00	0,067	0,094
3	3000	0,1001	101348,87	101325,00	0,100	0,129
4	4000	0,133	101364,61	101325,00	0,133	0,167
5	5000	0,167	101381,87	101325,00	0,167	0,204
6	6000	0,2001	101399,77	101325,00	0,200	0,241
7	7000	0,234	101418,02	101325,00	0,234	0,278

#### 4.1.3. Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan 180°

Simulasi dilakukan sebanyak 7 ( tujuh ) kali percobaan, yaitu dimulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nantinya, nilai yang divariasikan kedalam simulasi yaitu nilai kecepatan masuk fluida mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 dengan perhitungan menggunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ).

##### 4.1.3.1. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 1000

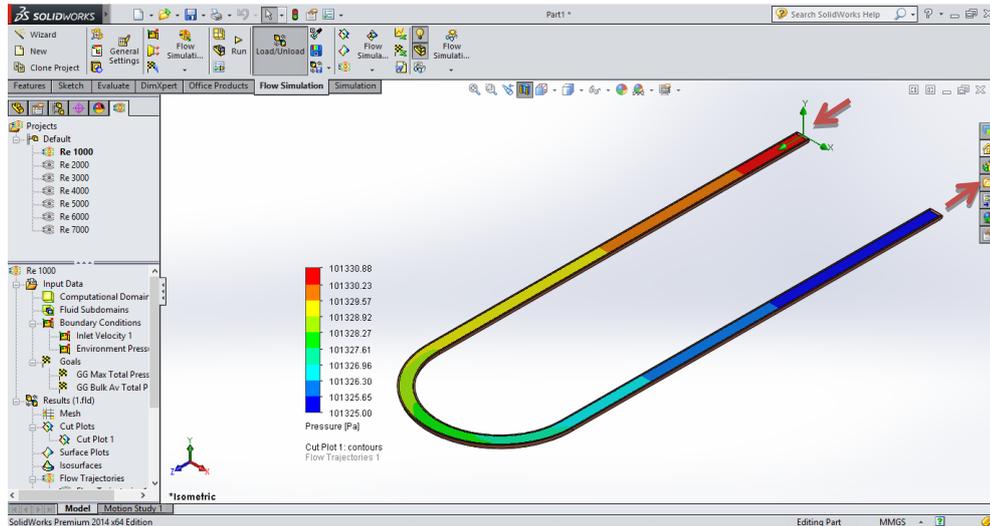
Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan *reynold* (Re) 1000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( v ) yaitu sebesar 0,033 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{vd}{\nu} \\
 1000 &= \frac{v \cdot 0,02677\text{m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}} \\
 1000 &= v \cdot 29977,6\text{m} / \text{s}
 \end{aligned}$$

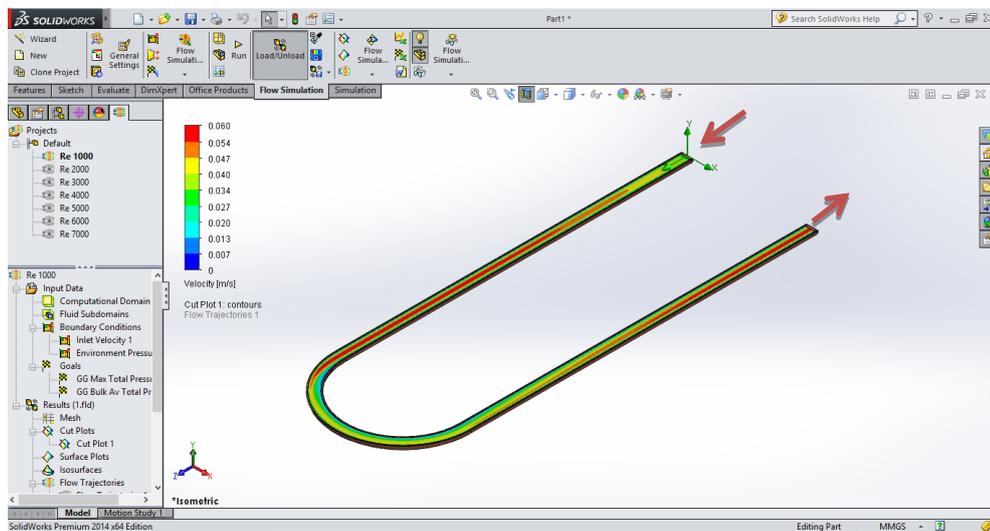
$$1000 / 29977,6 = v$$

$$0,033m / s = v$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “*inlet velocity*” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah visualisasi aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.13. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.14. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101330,88 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya

menurun saat melewati belokan pipa namun tidak terlalu signifikan. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 180° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

#### 4.1.3.2. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 2000

Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida pada bilangan *reynold* (Re) 2000 digunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( *v* ) yaitu sebesar 0,067 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

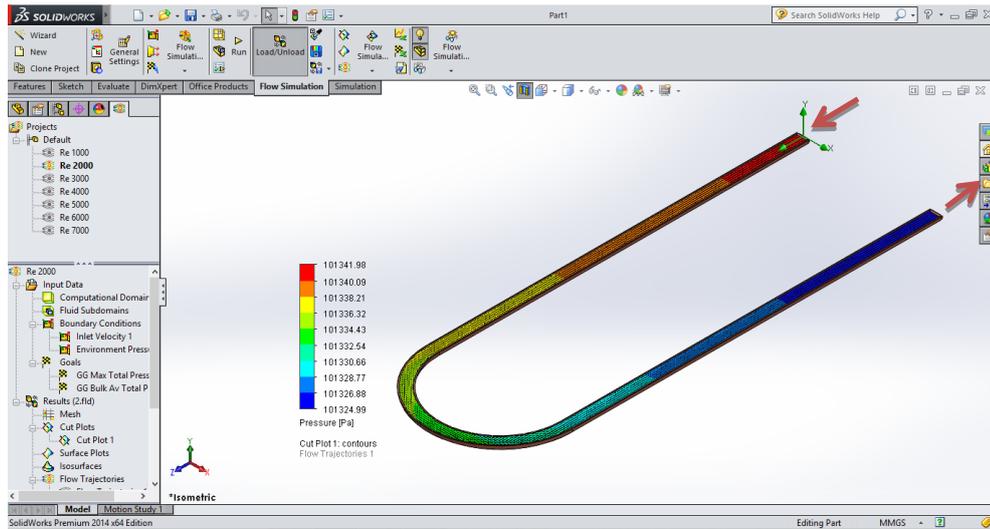
$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{vd}{\nu} \\ 2000 &= \frac{v \cdot 0,02677m}{0,893 \times 10^{-6} m^2 / s} \end{aligned}$$

$$2000 = v \cdot 29977,6m / s$$

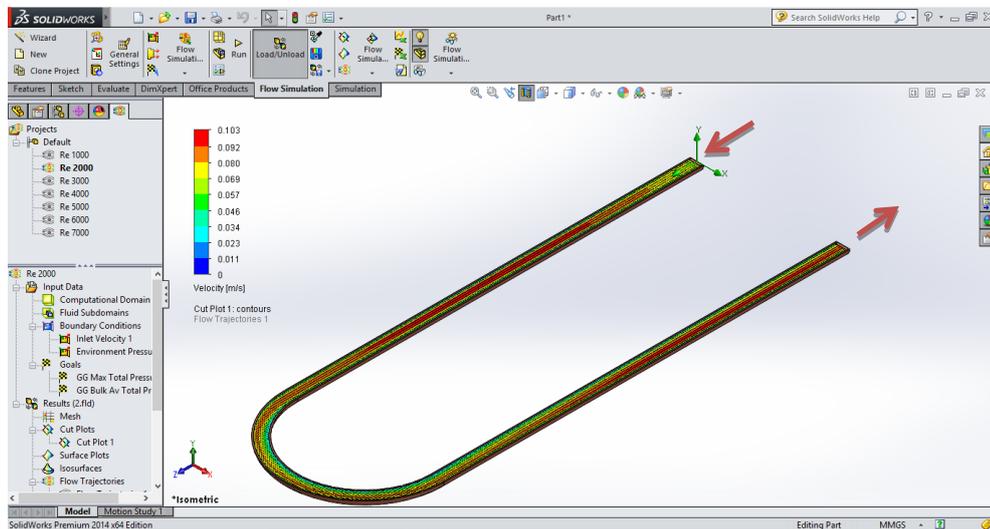
$$2000 / 29977,6 = v$$

$$0,067m / s = v$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “*inlet velocity*” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah *visualisasi* aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.15. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.16. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101341,98 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun saat melewati belokan pipa namun tidak terlalu signifikan. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 180° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali

naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

#### 4.1.3.3. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 3000

Pada perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kecepatan aliran fluida yang terjadi pada bilangan *reynold* (Re) 1000 yang dilakukan dengan menggunakan rumus yang ada pada persamaan ( 4.1. ). Diperoleh hasil kecepatan ( v ) yaitu sebesar 0,1001 m/s dengan perhitungan sebagai berikut :

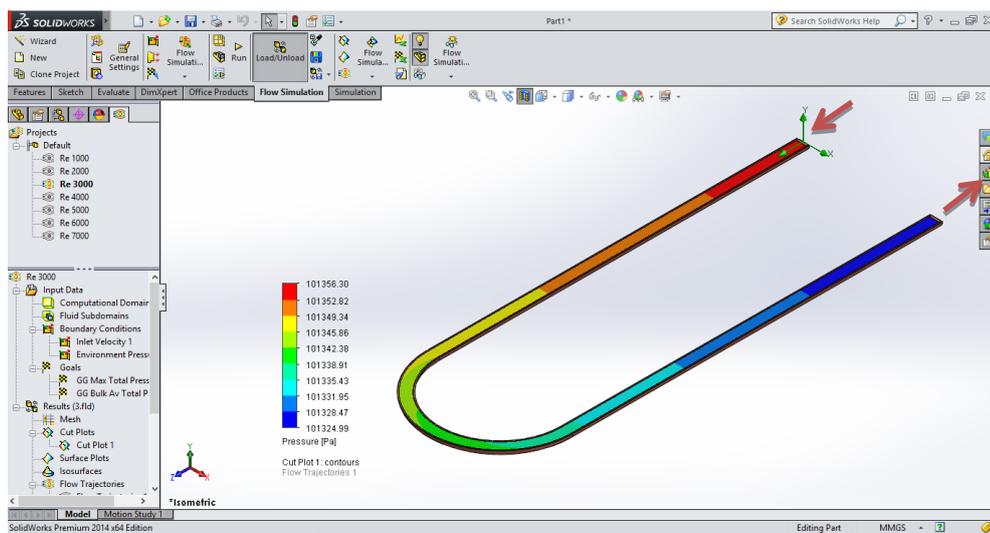
$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{vd}{\nu} \\ 3000 &= \frac{v \cdot 0,02677\text{m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}} \end{aligned}$$

$$3000 = v \cdot 29977,6 \text{m} / \text{s}$$

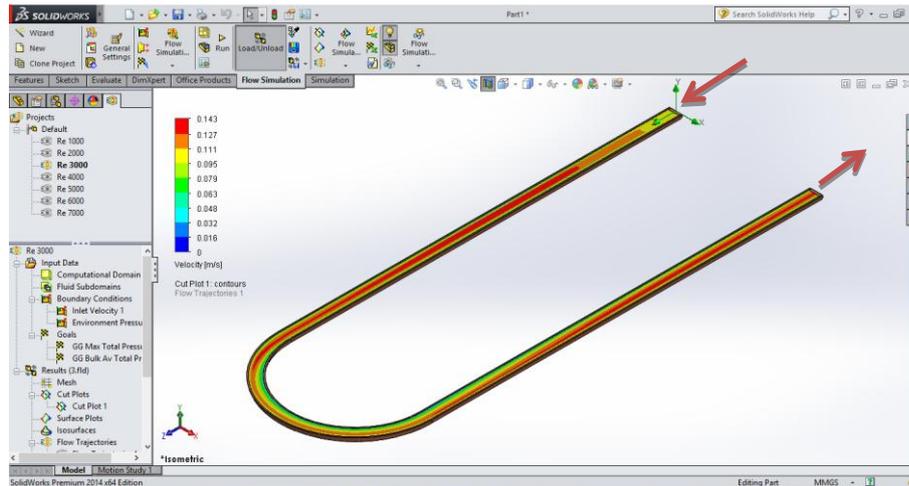
$$3000 / 29977,6 = v$$

$$0,1001 \text{m} / \text{s} = v$$

Nilai dari hasil perhitungan tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam simulasi yaitu pada bagian “*inlet velocity*” atau kecepatan masuk. Berikut ini adalah *visualisasi* aliran yang dilakukan dalam simulasi.



Gambar 4.17. *Visualisasi* aliran hasil simulasi berupa tekanan



Gambar 4.18. Visualisasi aliran hasil simulasi berupa kecepatan awal aliran masuk fluida

Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101356,30 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun saat melewati belokan pipa namun tidak terlalu signifikan. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 180° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

Tabel 4.3. Data hasil simulasi pada pipa belokan 180°

Simulasi	Re	v Awal (m/s)	$P_1 / P_{in}$ (Pa)	$P_2 / P_{out}$ (Pa)	$v_1 / v_{in}$ (m/s)	$v_2 / v_{out}$ (m/s)
1	1000	0,033	101330,80	101325,00	0,033	0,058
2	2000	0,067	101341,75	101325,00	0,067	0,090
3	3000	0,1001	101355,90	101325,00	0,100	0,129
4	4000	0,133	101371,42	101325,00	0,133	0,166
5	5000	0,167	101388,88	101325,00	0,167	0,204
6	6000	0,2001	101406,45	101325,00	0,200	0,241
7	7000	0,234	101423,50	101325,00	0,234	0,279

## 4.2. Pembahasan

Dalam pembahasan ini, nilai yang dicari adalah nilai  $\Delta P$  (*preassure drop*), kerugian energi (*head loss*), dan nilai koefisien kerugian ( $k$ ) yang terjadi pada aliran belokan pipa. Terdiri dari 7 ( tujuh ) variasi kecepatan aliran, mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000.

### 4.2.1. Pada Pipa Belokan 90°

Simulasi terdiri dari 7 ( tujuh ) variasi kecepatan aliran, mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nilai  $P_{in}$  dan  $P_{out}$  serta nilai  $v_1$  dan  $v_2$  diperoleh dari menu “*Point Parameters*” dengan memilih dimana titik masuk dan titik keluarnya aliran fluida pada simulasi. Maka nilainya pun akan secara otomatis muncul dengan menjalankan perintah “*Show*”.

#### 4.2.1.1. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 1000

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\ &= 101329,02Pa - 101325,00Pa \\ &= 4,02Pa\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\ H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{4,02Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,033^2 m/s - 0,058^2 m/s}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00029m\end{aligned}$$

$$H_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}k &= \frac{2gH_L}{v^2} \\ &= \frac{2 \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,00029m}{0,033^2 m/s} \\ &= 5,22\end{aligned}$$

4.2.1.2. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 2000

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\ &= 101335,80Pa - 101325,00Pa \\ &= 10,8Pa\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\ H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{10,8Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,067^2 m/s - 0,091^2 m/s}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00091m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_L &= k \frac{v^2}{2g} \\ k &= \frac{2gH_L}{v^2} \\ &= \frac{2 \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,00091m}{0,067^2 m/s} \\ &= 3,98\end{aligned}$$

4.2.1.3. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 3000

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\ &= 101345,84Pa - 101325,00Pa \\ &= 20,84Pa\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\ H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{20,84Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,100^2 m/s - 0,129^2 m/s}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00176m\end{aligned}$$

$$H_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{2gH_L}{v^2} \\
 &= \frac{2.9,81m/s^2 \cdot 0,00176m}{0,1001^2 m/s} \\
 &= 3,4
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4. Nilai hasil perhitungan  $\Delta P$  pada pipa belokan  $90^\circ$

Bilangan <i>Reynold</i>	$\Delta P$ (Pa)
1000	4,02
2000	10,8
3000	20,84
4000	33,63
5000	45,83
6000	58,2
7000	70,48

Tabel 4.5. Nilai hasil perhitungan *head loss* ( $H_L$ ) pada pipa belokan  $90^\circ$

Bilangan <i>Reynold</i>	Head Loss (m)
1000	0,00029
2000	0,00091
3000	0,00176
4000	0,00288
5000	0,004
6000	0,0051
7000	0,0061

Tabel 4.6. Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian ( $k$ ) pada pipa belokan  $90^\circ$

Bilangan <i>Reynold</i>	Koefisien kerugian ( $k$ )
1000	5,22
2000	3,98
3000	3,4
4000	3,19
5000	2,8
6000	2,5
7000	2,2

#### 4.2.2. Pada Pipa Belokan Siku

Simulasi terdiri dari 7 ( tujuh ) variasi kecepatan aliran, mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nilai  $P_{in}$  dan  $P_{out}$  serta nilai  $v_1$  dan  $v_2$  diperoleh dari menu “*Point Parameters*” dengan memilih dimana titik masuk dan titik keluarnya aliran fluida pada simulasi. Maka nilainya pun akan secara otomatis muncul dengan menjalankan perintah “*Show*”.

4.2.2.1. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 1000

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\ &= 101329,82Pa - 101325,00Pa \\ &= 4,82Pa\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\ H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{4,82Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,033^2 m/s - 0,056^2 m/s}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00039m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_L &= k \frac{v^2}{2g} \\ k &= \frac{2gH_L}{v^2} \\ &= \frac{2 \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,00039m}{0,033^2 m/s} \\ &= 7,03\end{aligned}$$

4.2.2.2. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 2000

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\ &= 101337,84Pa - 101325,00Pa \\ &= 12,84Pa\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\ H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{12,84Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,067^2 m/s - 0,094^2 m/s}{19,62m/s^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,001 \text{ m} \\
H_L &= k \frac{v^2}{2g} \\
k &= \frac{2gH_L}{v^2} \\
&= \frac{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,001 \text{ m}}{0,067^2 \text{ m/s}} \\
&= 4,8
\end{aligned}$$

4.2.2.3. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 3000

$$\begin{aligned}
\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\
&= 10134887 \text{ Pa} - 10132500 \text{ Pa} \\
&= 23,87 \text{ Pa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\
H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\
&= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\
&= \frac{23,87 \text{ Pa}}{9780,57 \text{ N/m}^3} + \frac{0,100^2 \text{ m/s} - 0,129^2 \text{ m/s}}{19,62 \text{ m/s}^2} \\
&= 0,002 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_L &= k \frac{v^2}{2g} \\
k &= \frac{2gH_L}{v^2} \\
&= \frac{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,002 \text{ m}}{0,1001^2 \text{ m/s}} \\
&= 4,1
\end{aligned}$$

Tabel 4.7. Nilai hasil perhitungan  $\Delta P$  pada pipa belokan siku

Bilangan <i>Reynold</i>	$\Delta P$ (Pa)
1000	4,82
2000	12,84
3000	23,87
4000	39,61
5000	56,87
6000	74,77
7000	93,02

Tabel 4.8. Nilai hasil perhitungan *head loss* ( $H_L$ ) pada pipa belokan siku

Bilangan <i>Reynold</i>	Head Loss (m)
1000	0,00039
2000	0,0011
3000	0,0021
4000	0,0035
5000	0,0051
6000	0,0067
7000	0,0084

Tabel 4.9. Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa siku

Bilangan <i>Reynold</i>	Koefisien kerugian (k)
1000	7,03
2000	4,8
3000	4,1
4000	3,9
5000	3,6
6000	3,3
7000	3

#### 4.2.3. Pada Pipa Belokan 180°

Simulasi terdiri dari 7 ( tujuh ) variasi kecepatan aliran, mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nilai  $P_{in}$  dan  $P_{out}$  serta nilai  $v_1$  dan  $v_2$  diperoleh dari menu “*Point Parameters*” dengan memilih dimana titik masuk dan titik keluarnya aliran fluida pada simulasi. Maka nilainya pun akan secara otomatis muncul dengan menjalankan perintah “*Show*”.

##### 4.2.3.1. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 1000

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{in} - P_{out} \\ &= 10133080Pa - 10132500Pa \\ &= 5,8Pa\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L \\ H_L &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\ &= \frac{5,8Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,033^2 m/s - 0,058^2 m/s}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00047m\end{aligned}$$

$$H_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$k = \frac{2gH_L}{v^2}$$

$$= \frac{2.9,81m/s^2 \cdot 0,00047m}{0,033^2 m/s}$$

$$= 8,5$$

4.2.3.2. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 2000

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$= 101341,75Pa - 101325,00Pa$$

$$= 16,75Pa$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L$$

$$H_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

$$= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

$$= \frac{16,75Pa}{9780,57N/m^3} + \frac{0,067^2 m/s - 0,090^2 m/s}{19,62m/s^2}$$

$$= 0,0015m$$

$$H_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$k = \frac{2gH_L}{v^2}$$

$$= \frac{2.9,81m/s^2 \cdot 0,0015m}{0,067^2 m/s}$$

$$= 6,6$$

4.2.3.3. Pada Bilangan *Reynold* (Re) 3000

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$= 101355,90Pa - 101325,00Pa$$

$$= 30,9Pa$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + H_L$$

$$H_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \\
&= \frac{30,9 Pa}{9780,57 N/m^3} + \frac{0,100^2 m/s - 0,129^2 m/s}{19,62 m/s^2} \\
&= 0,0029 m \\
H_L &= k \frac{v^2}{2g} \\
k &= \frac{2g H_L}{v^2} \\
&= \frac{2 \cdot 9,81 m/s^2 \cdot 0,0029 m}{0,100^2 m/s} \\
&= 5,7
\end{aligned}$$

Tabel 4.10. Nilai hasil perhitungan  $\Delta P$  pada pipa belokan  $180^\circ$

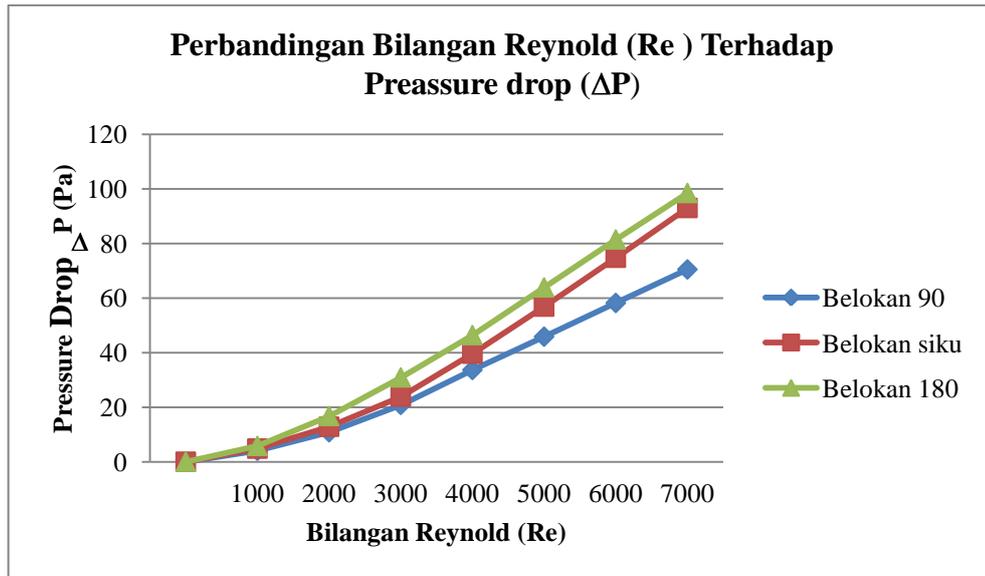
Bilangan <i>Reynold</i>	$\Delta P$ (Pa)
1000	5,8
2000	16,75
3000	30,9
4000	46,42
5000	63,88
6000	81,45
7000	98,5

Tabel 4.11. Nilai hasil perhitungan *head loss* ( $H_L$ ) pada pipa belokan  $180^\circ$

Bilangan <i>Reynold</i>	Head Loss (m)
1000	0,00047
2000	0,0015
3000	0,0029
4000	0,0042
5000	0,0058
6000	0,0074
7000	0,0088

Tabel 4.12. Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian ( $k$ ) pada pipa belokan  $180^\circ$

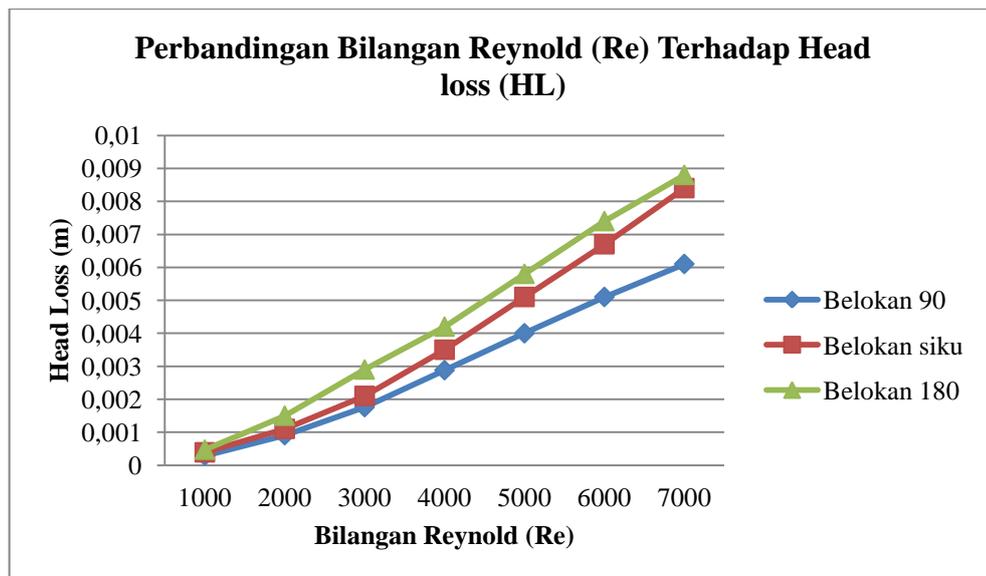
Bilangan <i>Reynold</i>	Koefisien kerugian ( $k$ )
1000	8,5
2000	6,5
3000	5,7
4000	4,7
5000	4,1
6000	3,6
7000	3,2



Gambar 4.19. Grafik perbandingan bilangan *reynold* (Re) terhadap *pressure drop* ( $\Delta P$ )

Pada grafik perbandingan bilangan *reynold* (Re) terhadap *pressure drop* ( $\Delta P$ ) diatas, dapat dilihat bahwa bilangan *reynold* (Re) berbanding lurus terhadap *pressure drop*. Semakin besar bilangan *reynold*nya maka semakin besar pula nilai *pressure drop*. Aliran dengan nilai *pressure drop* tertinggi yaitu terjadi pada aliran dengan belokan radius 180°. Hal ini dikarenakan aliran dengan belokan radius 180° belokan alirannya membentuk setengah lingkaran dan memiliki belokan yang cukup panjang jika dibandingkan dengan belokan 90° dan belokan siku sehingga terjadi penurunan tekanan yang cukup besar pada belokan tersebut yang disebabkan gesekan antara fluida dengan dinding pipa. Sehingga selisih tekanan yang terjadi antara aliran masuk dan aliran keluar fluida menjadi lebih besar terjadi dan menyebabkan nilai *pressure drop* menjadi lebih besar. Adapun aliran dengan *pressure drop* terkecil yaitu terjadi pada aliran dengan belokan 90°. Hal ini dikarenakan belokan pada aliran ini cukup sederhana dan belokannya cenderung landai sehingga tidak terjadi penurunan tekanan yang terlalu besar pada belokan tersebut. Sedangkan aliran dengan belokan siku nilai *pressure drop*nya lebih besar dibandingkan aliran dengan belokan 90°. Hal ini dikarenakan aliran dengan belokan siku terjadi penyempitan penampang aliran yang cukup drastis bila dibandingkan aliran dengan belokan 90° yang menyebabkan fluida mengalir

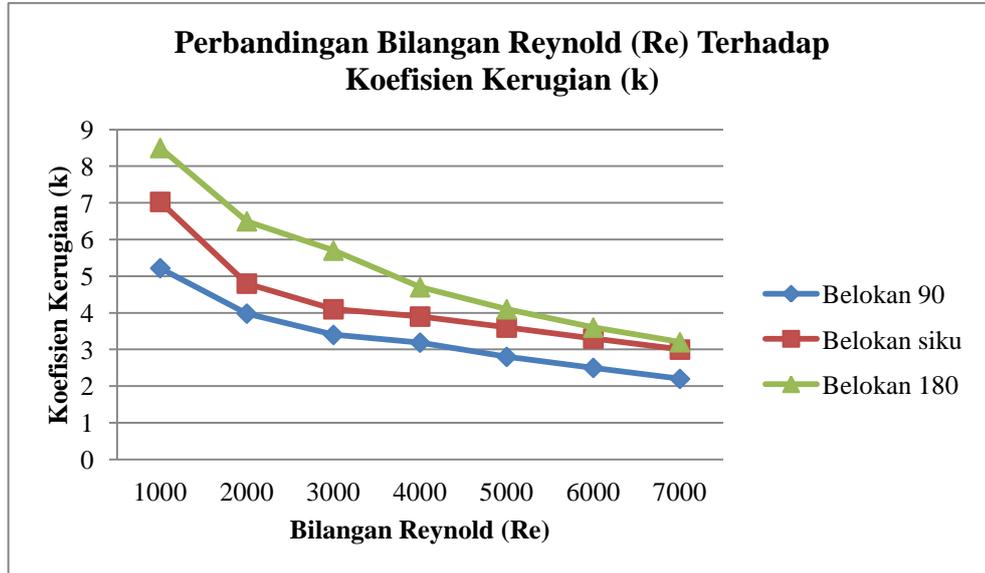
lebih cepat. Kecepatan berbanding terbalik terhadap tekanan. Semakin tinggi kecepatan aliran maka tekanannya pun akan semakin menurun. Hal ini didasari bahwa fluida mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah. Keadaan tersebut membuat selisih antara tekanan masuk dengan tekanan keluar fluida menjadi semakin besar.



Gambar 4.20. Grafik perbandingan bilangan *reynold* (Re) terhadap *head loss*

Pada Grafik perbandingan bilangan *reynold* (Re) terhadap *head loss* diatas, dapat dilihat bahwa bilangan *reynold* (Re) berbanding lurus dengan *head loss* (kerugian energi). Semakin besar bilangan *reynold*nya maka *head loss*nya pun juga semakin besar. Adapun yang mempengaruhi besar kekecilnya *head loss* adalah *pressure drop* ( $\Delta P$ ) dan  $\Delta v$  (selisih kecepatan aliran pada penampang 1 dan penampang 2). Semakin besar  $\Delta P$  dan  $\Delta v$  maka nilai *head loss* nya pun juga akan semakin besar. Hal ini dapat disimpulkan dari rumus perhitungan yang ada pada pembahasan. Terlihat pada grafik yang ada pada gambar (4.20) bahwa nilai *head loss* terbesar terjadi pada aliran dengan belokan 180°, diikuti dengan aliran belokan siku, dan aliran dengan belokan 90°. Hasil ini berkaca pada *hasil pressure drop* yang telah dibahas sebelumnya bahwa *preesure drop* terbesar terjadi pada aliran dengan belokan 180°, diikuti aliran dengan belokan siku, dan aliran dengan

belokan 90°. Seperti yang telah dijelaskan bahwa nilai *pressure drop* mempengaruhi nilai *head loss* yang terjadi.



Gambar 4.21. Grafik perbandingan bilangan reynold (Re) terhadap koefisien kerugian (k)

Pada grafik perbandingan bilangan *reynold* (Re) terhadap koefisien kerugian (k) diatas, terlihat bahwa bilangan *reynold* berbanding terbalik terhadap nilai koefisien kerugian (k). Semakin besar bilangan *reynold*nya maka nilai koefisien kerugiannya pun semakin kecil. Hal ini dikarenakan bilangan *reynold* (Re) berbanding lurus terhadap kecepatan aliran (v). Sehingga pada saat kecepatan aliran tinggi hambatan yang terjadi pada aliran akan menjadi semakin kecil. Hal ini membuat nilai koefisien kerugiannya menjadi semakin kecil.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari simulasi yang telah dilakukan, dengan 3 ( tiga ) jenis variasi aliran belokan yaitu aliran dengan belokan  $90^\circ$ , aliran dengan belokan siku, dan aliran dengan belokan  $180^\circ$  yang di simulasikan dengan memvariasikan kecepatan masuk aliran fluida mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 maka diperoleh kesimpulan :

1. *Head loss* adalah hilangnya energi persatuan berat fluida. Sehingga satuan *head loss* adalah satuan panjang (meter) yang setara dengan satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan berat fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian. Maka *head loss* dapat disimpulkan sebagai kerugian energi yang terjadi pada aliran fluida.
2. Dari hasil simulasi yang dilakukan mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000 pada ketiga jenis belokan aliran diperoleh hasil kerugian energi (*head loss*) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan  $90^\circ$  yaitu sebesar 0,0061 m, kerugian energi (*head loss*) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan siku yaitu sebesar 0,0084 m, dan kerugian energi (*head loss*) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan  $180^\circ$  yaitu sebesar 0,0088 m.
3. *Pressure drop* berbanding lurus terhadap bilangan *reynold*. Semakin besar bilangan *reynold* maka nilai *pressure drop* juga akan semakin besar.
4. Nilai koefisien kerugian berbanding terbalik dengan bilangan *reynold*. Semakin besar bilangan *reynold* maka nilai koefisien kerugian akan semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin besar bilangan *reynold* maka kecepatan aliran fluida juga akan semakin cepat, sehingga hambatan yang terjadi pada aliran akan menjadi lebih kecil sehingga nilai koefisien kerugiannya pun menjadi semakin kecil.
5. Bilangan *reynold* bendanding lurus terhadap kecepatan (v). Semakin besar bilangan *reynold* maka kecepatan alirannya pun akan semakin cepat.

## 5.2. Saran

1. Lakukanlah simulasi minimal sebanyak 2 ( dua ) kali di setiap percobaan simulasi, demi ke akuratan data yang nantinya akan diambil.
2. Masukkanlah data – data yang menjadi acuan dalam simulasi dengan teliti. Karena jika ada salah sedikit saja data yang dimasukkan, maka keakuratan data hasil simulasi pun tidak akan maksimal.

## DAFTAR USTAKA

- Hariyono, Rubiono, G., & Mujianto, H. (2016). *Study Eksperimental Perilaku Aliran Fluida Pada Sambungan Belokan Pipa*. *Jurnal Prodi Teknik Mesin Universitas PGRJ Banyuwangi*. 1(1): 12 - 13.
- Hirsch, C., Canale, R. P. (2015). *Numerical Computation Of Internal and External Flow*. Jhon Wiley & Sons, Ltd, (2)1.
- Pratikto, & Wahyudi, S. (2010). *Penurunan Kerugian Head Pada Belokan Pipa Dengan Peletakan Tube Bundle*. *Jurnal Teknik Mesin*.12(1): 51 - 57.
- Putra, E. S., & Widodo, W. A. (2016). *Simulasi Numerik Aliran Tiga Dimensi Melalui Rectangular Duct Dengan Variasi Bukaannya Damper*. *Jurnal Teknik ITS*. 5(1): B16 - B41.
- Putra, I. E., Sulaiman, & Galsha, A. *Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC*. Prosiding Seminar Nasional PIMIMD-4, Padang: 27 Juli 2017. Hal. 34-39
- Raswari. 2007. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Shearer, M., Levy, R. (2015). *Partial Differential Equation an Introduction to Theory and Applications*. New Jersey: Princeton University Press.
- Wibowo, Priyo Ari. 2013. *Analisis Penurunan Head Losses Pada Belokan Pipa 180° Dengan Variasi Non Tube Bundle, Tube Bundle 0,25 Inchi, dan Tube Bundle 0,5 Inchi* [skripsi] Jember (ID): Universitas jember.
- Zainudin, Sayoga, I. A., & Nuarsa, I. M. (2012). *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa*. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*. 2(2): 75 - 78.

# **LAMPIRAN**

TABLE A-9

Properties of saturated water

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Saturation Pressure $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$		Enthalpy of Vaporization $h_{\text{fg}}, \text{kJ/kg}$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$		Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$		Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient $\beta, 1/\text{K}$
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	$1.792 \times 10^{-3}$	$0.922 \times 10^{-5}$	13.5	1.00	$-0.068 \times 10^{-3}$
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	$1.519 \times 10^{-3}$	$0.934 \times 10^{-5}$	11.2	1.00	$0.015 \times 10^{-3}$
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	$1.307 \times 10^{-3}$	$0.946 \times 10^{-5}$	9.45	1.00	$0.733 \times 10^{-3}$
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	$1.138 \times 10^{-3}$	$0.959 \times 10^{-5}$	8.09	1.00	$0.138 \times 10^{-3}$
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	$1.002 \times 10^{-3}$	$0.973 \times 10^{-5}$	7.01	1.00	$0.195 \times 10^{-3}$
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	$0.891 \times 10^{-3}$	$0.987 \times 10^{-5}$	6.14	1.00	$0.247 \times 10^{-3}$
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	$0.798 \times 10^{-3}$	$1.001 \times 10^{-5}$	5.42	1.00	$0.294 \times 10^{-3}$
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	$0.720 \times 10^{-3}$	$1.016 \times 10^{-5}$	4.83	1.00	$0.337 \times 10^{-3}$
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	$0.653 \times 10^{-3}$	$1.031 \times 10^{-5}$	4.32	1.00	$0.377 \times 10^{-3}$
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	$0.596 \times 10^{-3}$	$1.046 \times 10^{-5}$	3.91	1.00	$0.415 \times 10^{-3}$
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	$0.547 \times 10^{-3}$	$1.062 \times 10^{-5}$	3.55	1.00	$0.451 \times 10^{-3}$
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	$0.504 \times 10^{-3}$	$1.077 \times 10^{-5}$	3.25	1.00	$0.484 \times 10^{-3}$
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	$0.467 \times 10^{-3}$	$1.093 \times 10^{-5}$	2.99	1.00	$0.517 \times 10^{-3}$
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	$0.433 \times 10^{-3}$	$1.110 \times 10^{-5}$	2.75	1.00	$0.548 \times 10^{-3}$
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	$0.404 \times 10^{-3}$	$1.126 \times 10^{-5}$	2.55	1.00	$0.578 \times 10^{-3}$
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	$0.378 \times 10^{-3}$	$1.142 \times 10^{-5}$	2.38	1.00	$0.607 \times 10^{-3}$
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	$0.355 \times 10^{-3}$	$1.159 \times 10^{-5}$	2.22	1.00	$0.653 \times 10^{-3}$
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	$0.333 \times 10^{-3}$	$1.176 \times 10^{-5}$	2.08	1.00	$0.670 \times 10^{-3}$
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	$0.315 \times 10^{-3}$	$1.193 \times 10^{-5}$	1.96	1.00	$0.702 \times 10^{-3}$
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	$0.297 \times 10^{-3}$	$1.210 \times 10^{-5}$	1.85	1.00	$0.716 \times 10^{-3}$
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	$0.282 \times 10^{-3}$	$1.227 \times 10^{-5}$	1.75	1.00	$0.750 \times 10^{-3}$
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	$0.255 \times 10^{-3}$	$1.261 \times 10^{-5}$	1.58	1.00	$0.798 \times 10^{-3}$
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	$0.232 \times 10^{-3}$	$1.296 \times 10^{-5}$	1.44	1.00	$0.858 \times 10^{-3}$
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	$0.213 \times 10^{-3}$	$1.330 \times 10^{-5}$	1.33	1.01	$0.913 \times 10^{-3}$
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	$0.197 \times 10^{-3}$	$1.365 \times 10^{-5}$	1.24	1.02	$0.970 \times 10^{-3}$
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	$0.183 \times 10^{-3}$	$1.399 \times 10^{-5}$	1.16	1.02	$1.025 \times 10^{-3}$
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	$0.170 \times 10^{-3}$	$1.434 \times 10^{-5}$	1.09	1.05	$1.145 \times 10^{-3}$
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	$0.160 \times 10^{-3}$	$1.468 \times 10^{-5}$	1.03	1.05	$1.178 \times 10^{-3}$
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	$0.150 \times 10^{-3}$	$1.502 \times 10^{-5}$	0.983	1.07	$1.210 \times 10^{-3}$
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	$0.142 \times 10^{-3}$	$1.537 \times 10^{-5}$	0.947	1.09	$1.280 \times 10^{-3}$
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	$0.134 \times 10^{-3}$	$1.571 \times 10^{-5}$	0.910	1.11	$1.350 \times 10^{-3}$
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	$0.122 \times 10^{-3}$	$1.641 \times 10^{-5}$	0.865	1.15	$1.520 \times 10^{-3}$
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	$0.111 \times 10^{-3}$	$1.712 \times 10^{-5}$	0.836	1.24	$1.720 \times 10^{-3}$
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	$0.102 \times 10^{-3}$	$1.788 \times 10^{-5}$	0.832	1.35	$2.000 \times 10^{-3}$
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	$0.094 \times 10^{-3}$	$1.870 \times 10^{-5}$	0.854	1.49	$2.380 \times 10^{-3}$
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	$0.086 \times 10^{-3}$	$1.965 \times 10^{-5}$	0.902	1.69	$2.950 \times 10^{-3}$
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	$0.078 \times 10^{-3}$	$2.084 \times 10^{-5}$	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	$0.070 \times 10^{-3}$	$2.255 \times 10^{-5}$	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	$0.060 \times 10^{-3}$	$2.571 \times 10^{-5}$	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	$0.043 \times 10^{-3}$	$4.313 \times 10^{-5}$			

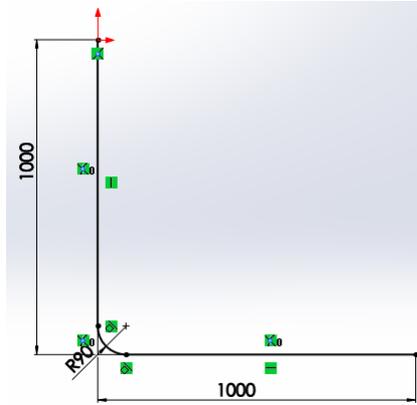
Note 1: Kinematic viscosity  $\nu$  and thermal diffusivity  $\alpha$  can be calculated from their definitions,  $\nu = \mu/\rho$  and  $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$ . The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg·°C for specific heat is equivalent to kJ/kg·K, and the unit W/m·°C for thermal conductivity is equivalent to W/m·K.

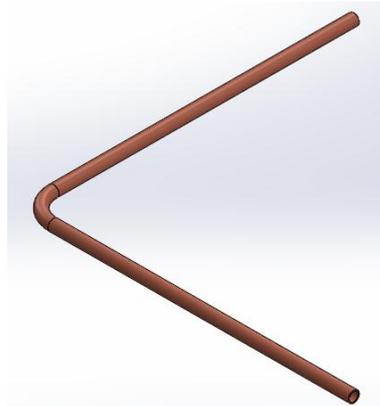
Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

1. Pipa belokan 90°

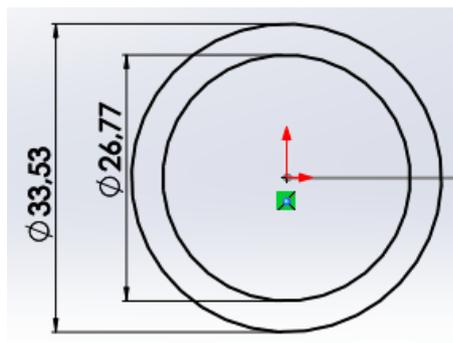
a. Ukuran pipa



b. Gambar pipa aliran

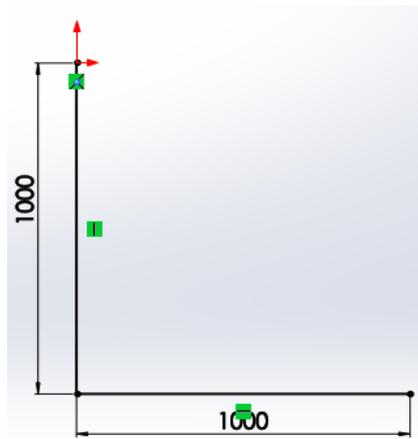


c. Diameter pipa

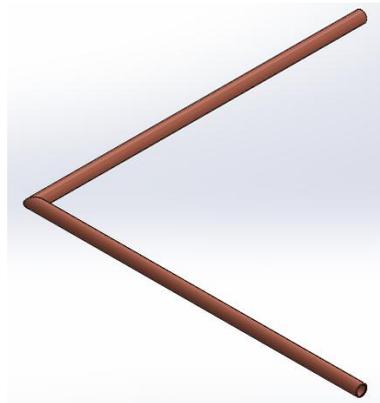


2. Pipa belokan siku

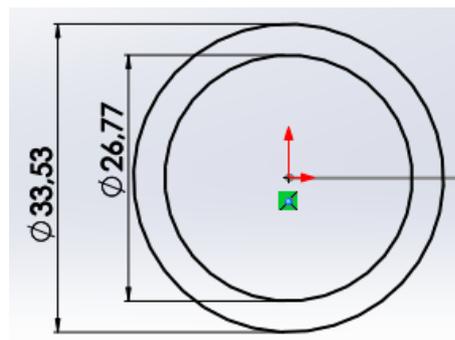
a. Ukuran pipa



b. Gambar pipa aliran

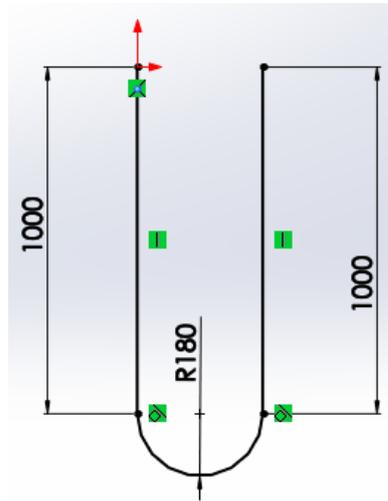


c. Diameter pipa

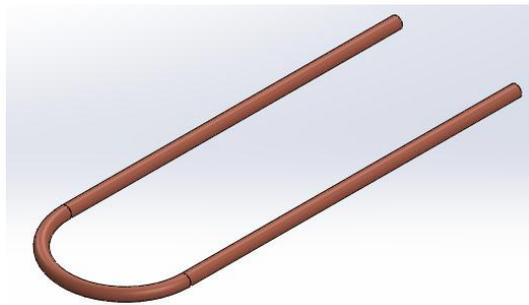


3. Pipa belokan 180°

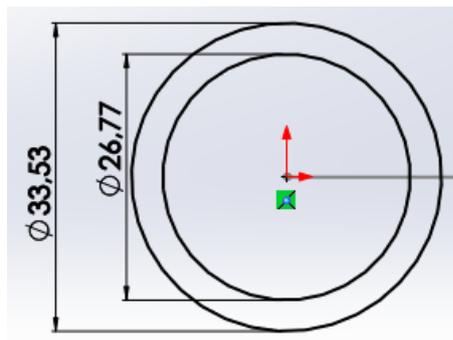
a. Ukuran pipa



b. Gambar pipa aliran

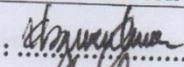
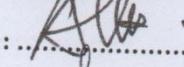
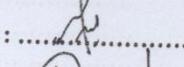
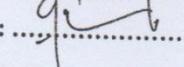


c. Diameter pipa



**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

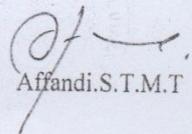
Peserta Seminar  
 Nama : Rendy Kuswary  
 NPM : 1507230120  
 Judul Tugas Akhir : Simulasi Numerik kerugian Energy Pada Belokan Pipa.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T	: 
Pembanding – I : H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 
Pembanding – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1407230266	M. ADIMAS NUGRAHA	
2	1507230139	Mellyanto	
3	1507230239	FIKI ARIZA	
4	1507230155	ANDRIANTO	
5	1507230246	JHIN MAWLANA Lubis	
6	1507230109	Rekimoli	
7	1507230163	BAYU ANGGARA	
8	1507230105	Agus Sulistiadi	
9	1407230270	BAJU SEPTIAN	
10	1407230200	M FACHRULROZI DAMAZIK	

Medan, 23 Jum.Akhir 1440 H  
28 Februari 2019 M

Ketua Prodi. T Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Rendy Kuswary  
NPM : 1507230120  
Judul T.Akhir : Simulasi Numerik Kerugian Energy Pada belokan Pipa.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T  
Dosen Pemanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ②. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

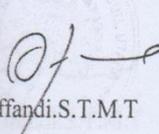
.....  
*Lihat buku skripsi*  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

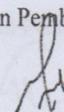
.....  
.....  
.....  
.....

Medan 24 Jum.Akhir 1440H  
01 Maret 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pemanding- I

  
H.Muharnif.S.T.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Rendy Kuswary  
NPM : 1507230120  
Judul T.Akhir : Simulasi Numerik Kerugian Energy Pada belokan Pipa.

Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T  
Dosen Pemanding - I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

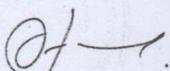
.....libert. ....Kuliah ....Tugas akhir.....  
.....  
.....

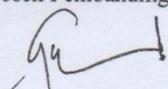
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....

Medan 24 Jum.Akhir 1440H  
01 Maret 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pemanding- II  
  
Chandra A Siregar.S.T.M.T

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

#### Simulasi Numerik Kerugian Energy Pada Belokan Pipa

Nama : Rendy Kuswary  
NPM : 1507230120

Dosen Pembimbing 1 : Khairul Umurani, S.T., M.T.  
Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	04-01-2019	Pembelian perlengkapan tugas	h
2.	09-01-2019	Perbaiki fusikan mesin	h
3.	11-01-2019	Perbaiki tingkisan partikel	a
4.	15-01-2019	Perbaiki Metode	h
5.	28-01-2019	Lanjut ke penulisan	h
6.	13-02-2019	<sup>2</sup> Perbaiki kata pengantar	Sh
7.	14-02-2019	Tambahkan daftar pustaka	Sh
8.	15-02-2019	Perbaiki kesesuaian gambar	Sh
9.	16-02-2019	Ace, cover	h

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### **A. DATA PRIBADI**

1. Nama : RENDY KUSWARY
2. NPM : 1507230120
3. Jenis Kelamin : Laki - Laki
4. Tempat/Tanggal Lahir : Medan/28 Mei 1997
5. Kewarganegaraan : Indonesia
6. Status : Belum Menikah
7. Agama : Islam
8. Alamat : Jl. Karya II GG. Swadaya No. 31 Helvetia
9. No. HP : 083199511550
10. Email : [rendykuswary@gmail.com](mailto:rendykuswary@gmail.com)

### **B. RIWAYAT PENDIDIKAN**

- 2003 – 2009 : SD PAB 13 Helvetia
- 2009 – 2012 : SMP Negeri 1 Labuhan Deli
- 2012 – 2015 : SMK Swasta Raksana 1 Medan
- 2015 – 2019 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara