

**ANALISIS DISTRIBUSI TEKANAN DAN HEAD LOSSES
PADA 180° LONG RADIUS RETURN BEND
DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

**ARIYO ANINDITO
NIM. 0810620002-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS DISTRIBUSI TEKANAN DAN *HEAD LOSSES* PADA *180° LONG RADIUS RETURN BEND* DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ARIYO ANINDITO
NIM. 0810620002-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411 198710 1 001

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS DISTRIBUSI TEKANAN DAN HEAD LOSSES
PADA 180° LONG RADIUS RETURN BEND
DENGAN VARIASI DIAMETER PIPA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**ARIYO ANINDITO
NIM. 0810620002-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 14 Juni 2012

Skripsi I

Skripsi II

Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.
NIP. 19750113 200012 1 001

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.
NIP. 19591128 198710 1 001

Komprehensif

Ir. Tjuk Oerbandono, Msc., CSE.
NIP. 19670923 199303 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Kuasa atas rahmat dan karunia-Nya lah sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang ketauladanannya menjadi inspirasi bagi penulis agar selalu memberikan yang terbaik dalam segala aktivitas termasuk dalam penyelesaian karya tulis ilmiah ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian skripsi ini, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sangat mendalam kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Wali yang telah banyak memberikan waktu, pikiran, dan tenaga untuk membimbing dan berdiskusi dengan penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II dan Kepala Laboratorium Fenomena Dasar Mesin yang telah memberikan waktu dan masukan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
5. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staff Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas bantuan dan kelancaran dalam hal administrasi dan surat - menyurat.
7. Keluarga tercinta penulis, Bapak Tertib Utomo, Ibu Sri Sunarwati, Teddy Adi Pradana, dan Nisita Nindya Astri yang sudah memberikan segala sesuatu yang terbaik kepada penulis.
8. *Special someone*, Firda Astria Okta Saputri yang selalu menemani, mendukung, dan memberi semangat yang luar biasa kepada penulis.

9. Saudara – saudara seperjuangan EMPEROR (Mesin 2008 Brawijaya) yang sudah banyak memberikan inspirasi dan motivasi.
10. Rekan - rekan seperjuangan, senior dan junior di Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
11. Laboran Laboratorium FDM Lek Djoko Sumantri, A.Md. yang telah membantu dalam penyediaan fasilitas penelitian dan dukungan kepada penulis.
12. Rekan - rekan asisten Laboratorium FDM, Oktafi Herepson, ST, Yogi Radiyas, Fadjar Firdian R., M. Tegar L., Andika Marta D., serta asisten – asisten baru Angga V., Bayu S., Tita I., Ika Risma, dan Christopher Trio P., yang selalu memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini, yang tidak dapat disebutkan satu - persatu.

Penulis menyadari bahwa isi dari skripsi ini masih jauh dari yang diharapkan karena keterbatasan disiplin ilmu yang dikuasai oleh penulis, oleh karena itu kritik serta saran yang konstruktif sangat diharapkan bagi penulis untuk perbaikan skripsi ini sehingga akan jauh lebih bermanfaat bagi pembaca dan pihak-pihak terkait. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, Juli 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fluida	4
2.1.1 Definisi Fluida	4
2.1.2 Densitas Fluida	4
2.1.3 Berat Jenis Fluida	4
2.1.4 Viskositas	5
2.1.5 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian	7
2.1.6 Fluida Mampu Mampat dan Fluida Tak Mampu Mampat	8
2.1.7 <i>Boundary Layer</i>	8
2.2 Bilangan <i>Reynolds</i>	9
2.3 Aliran Laminer dan Turbulen	10
2.4 Aliran <i>Fully Developed</i> (Berkembang Penuh)	11
2.5 Persamaan Kontinuitas	12
2.6 Persamaan <i>Bernoulli</i>	13
2.7 Persamaan <i>Bernoulli</i> Untuk Fluida Real	14
2.8 <i>Head Losses</i>	15
2.9 <i>Minor Losses</i> pada Belokan	16
2.10 Hipotesis	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.3 Variabel Penelitian	21
3.4 Peralatan Penelitian	22
3.5 Instalasi Penelitian	25
3.6 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	26
3.7 Rencana Pengambilan Data	27
3.8 Teknik Analisa Data	28
3.9 Diagram Alir Proses Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil Penelitian	30
4.1.1 Data Hasil Penelitian	30
4.1.2 Pengolahan Data	32
4.2 Pembahasan	35
4.2.1 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada <i>180° Long Radius Return</i> <i>Bend</i> dengan Variasi Diameter pada Daerah I	35
4.2.2 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada <i>180° Long Radius Return</i> <i>Bend</i> dengan Variasi Diameter pada Daerah II	37
4.2.3 Grafik hubungan Debit Aliran dengan <i>Head Losses</i> pada <i>180° Long Radius Return Bend</i> Diameter 38 mm dan 50,8 mm	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

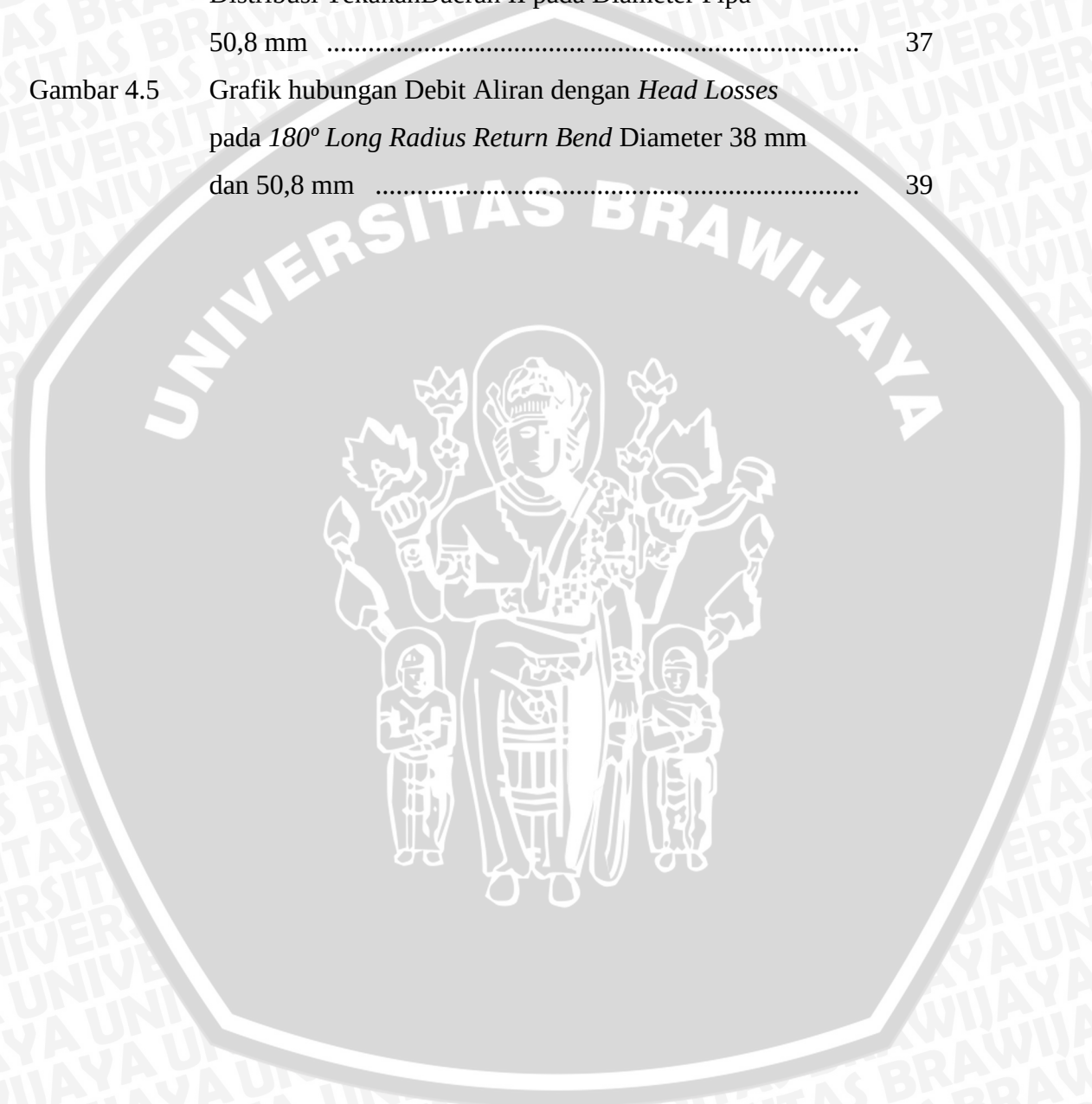
No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Distribusi Tekanan pada 180° long radius return bend dengan diameter $1\frac{1}{2}$ " (38 mm) dan 2" (50,8 mm)	34
Tabel 4.2	Kerugian head pada 180° long radius return bend dengan diameter $1\frac{1}{2}$ " (38 mm) dan 2" (50,8 mm)	35



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm	6
Gambar 2.2	Fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian	8
Gambar 2.3	Struktur <i>Boundary layer</i>	9
Gambar 2.4	Eksperimen ilustrasi jenis aliran dengan guratan zat pewarna yang khas	11
Gambar 2.5	Aliran berkembang penuh di dalam sebuah sistem pipa	11
Gambar 2.6	Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring	14
Gambar 2.7	Bentuk - bentuk lokal saluran	16
Gambar 2.8	Belokan siku	17
Gambar 2.9	Profil aliran melewati belokan	17
Gambar 2.10	Belokan <i>circular</i> 90°	18
Gambar 2.11	Grafik hubungan ($\frac{R}{a}$) terhadap nilai <i>a</i>	19
Gambar 2.12	Grafik hubungan ($\frac{e}{a}$) terhadap nilai <i>c</i>	19
Gambar 2.13	Grafik hubungan (δ) terhadap nilai <i>b</i>	20
Gambar 3.1	Pompa	22
Gambar 3.2	Bak penampung / <i>Hydraulic Bench</i>	22
Gambar 3.3	<i>Flowmeter</i>	23
Gambar 3.4	Katup (<i>valve</i>)	23
Gambar 3.5	Manometer H ₂ O	24
Gambar 3.6	Pipa Air (PVC)	24
Gambar 3.7	Penampang pipa 180° <i>long radius return bend</i>	25
Gambar 3.8	Instalasi penelitian	26
Gambar 3.9	Posisi titik pengukuran pada pipa 180° <i>long radius return bend</i>	28
Gambar 3.10	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada Daerah I pada Diameter Pipa 38 mm	35
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada Daerah I pada Diameter Pipa	

	50,8 mm	35
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan Daerah II pada Diameter Pipa 38 mm	37
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan Daerah II pada Diameter Pipa 50,8 mm	37
Gambar 4.5	Grafik hubungan Debit Aliran dengan <i>Head Losses</i> pada <i>180° Long Radius Return Bend</i> Diameter 38 mm dan 50,8 mm	39



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran A	Tabel Properties Air (<i>Water</i>) dalam satuan SI	
Lampiran B	Instalasi Penelitian	



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Viskositas kinematis	meter persegi per detik atau m^2/det	ν
Viskositas dinamik	newton detik per meter persegi atau Ns/m^2	μ
Gaya geser	newton	F
Tekanan	newton per meter persegi atau N/m^2	P
Berat jenis	newton per meter kubik atau N/m^3	γ
Head	meter atau m	h
Densitas	kilogram per meter kubik atau kg/m^3	ρ
Percepatan gravitasi	meter per detik persegi atau m/det^2	g
Reynolds	-	Re
Diameter	meter atau m	D
Debit	meter kubik per detik atau m^3/det	Q
Luas penampang	meter persegi atau m^2	A
Kecepatan rata-rata	meter per detik atau m/det	V
Kerugian head	meter air atau mH_2O	hl

RINGKASAN

Ariyo Anindito, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2011, Analisis Distribusi Tekanan dan *Head Losses* pada *180° Long Radius Return Bend* dengan Variasi Diameter Pipa, Dosen Pembimbing : **Ir. Endi Sutikno, MT.** dan **Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.**

Pada perancangan sistem pemipaan sangat diperlukan ketepatan dalam perancangan sistemnya seperti diameter pipa, sambungan, katup, dan belokan. Pemasangan sistem pemipaan sulit dihindari adanya belokan. Di dalam belokan – belokan tersebut mengalami kerugian energi, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi sehingga bisa menimbulkan *vortex/swirl*. Pada pipa belokan terjadi distribusi tekanan fluida yang berbeda – beda antara titik – titik tertentu yang salah satunya terjadi akibat adanya pemisahan aliran dan turbulensi.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Seksi uji pada penelitian ini yaitu, *180° long radius return bend* dipasang pada instalasi pipa dan fluida yang digunakan adalah air. Pengukuran tekanan dilakukan pada masing – masing titik pada seksi uji *180° long radius return bend*. Titik – titik tersebut terbagi menjadi dua daerah titik pengukuran, daerah I merupakan daerah pada daerah kelengkungan dalam pipa terbagi menjadi 9 titik pengukuran dan daerah II merupakan daerah pada daerah kelengkungan luar pipa terbagi menjadi 9 titik pengukuran.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah debit aliran yang melewati instalasi pipa yaitu 1000 liter/jam, 1200 liter/jam, 1400 liter/jam, 1600 liter/jam, 1800 liter/jam, dan 2000 liter/jam, sedangkan variabel terikatnya adalah kecepatan fluida, tekanan fluida diukur dengan manometer air dan *head losses* yang nilainya diperoleh dari perhitungan tekanan fluida tersebut. Pengujian dilakukan pada diameter pipa 38 mm dan 50,8 mm. Untuk mendapatkan data – data penelitian dilakukan dengan metode eksperimen, selanjutnya hasil eksperimen diolah dengan rumus – rumus yang relevan setelah itu dilakukan analisis dengan memberikan penjelasan yang deskriptif.

Hasil penelitian yang diperoleh yaitu berupa distribusi tekanan dan *head losses* pada kedua seksi uji. Secara keseluruhan pada kedua diameter pipa tekanan lebih besar terjadi pada daerah II yaitu daerah luar kelengkungan dari pipa, puncaknya pada posisi titik pengukuran ke – 4. *Head losses* yang lebih besar terjadi pada diameter pipa 38 mm daripada diameter 50,8 mm. Hal ini disebabkan adanya pengaruh dari nilai kecepatan aliran fluida dan bilangan *Reynolds* pada kedua variasi diameter.

Kata Kunci: *180° Long Radius Return Bend*, Distribusi Tekanan, *Head Losses*, dan *Bilangan Reynolds*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu ilmu pengetahuan dasar dalam bidang teknik mesin adalah ilmu mekanika fluida. Mekanika fluida mempelajari fluida *compressible* maupun *incompressible* tentang keseimbangan dan sifat - sifat aliran fluida, serta hubungan dengan benda – benda di sekitarnya atau yang dilalui fluida saat mengalir. Aliran fluida di dalam pipa merupakan pembahasan yang banyak mendapat perhatian dalam bidang mekanika fluida. Banyak peneliti yang telah menyampaikan kajiannya, berupa kajian teoritis dan empiris tertuang dalam berbagai rujukan pustaka.

Pada ilmu mekanika fluida juga mempelajari aliran fluida di dalam pipa, dimana fungsi utama pipa adalah untuk memindahkan hasil kerja pompa dengan mengalirkan suatu fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya dimana dalam fungsinya terdapat adanya perubahan luas penampang pada pipa dengan hambatanya. Gesekan fluida pada dinding pipa merupakan penyebab utama terjadinya kerugian energi pada sistem instalasi fluida (Witanto, 2004). Kerugian yang berupa penurunan *head* yang diakibatkan oleh gesekan yang terjadi pada pipa lurus disebut *major losses*, sedangkan kerugian yang diakibatkan perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti perubahan luas penampang, katup, belokan, dan orifice disebut *minor losses*.

Pada sistem pemipaan, terdapat instalasi pipa yang mengalami pembelokan. Pada pembelokan terdapat macam – macam sudut yang membentuknya, misalnya 45°, 90°, dan 180°. Di dalam belokan – belokan tersebut mengalami kerugian energi yang besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan (δ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah keluar aliran. Belokan halus atau *circular* cenderung mengurangi turbulensi yang menghambat aliran bila dibandingkan dengan belokan yang kasar dan siku.

Nanda Dianloga (2012), dalam penelitiannya tentang pengaruh variasi diameter terhadap distribusi tekanan dan kerugian *head* yang melalui *elbow* 90° dengan diameter 31,75 mm dan 50,8 mm. Secara keseluruhan nilai tekanan pada kedua variasi diameter pipa paling besar terjadi pada posisi pengukuran 1; 2; 3; 4 dan 5 (masing – masing posisi pengukuran dipisahkan dengan sudut 18°) daerah I, yaitu daerah yang terletak pada kelengkungan luar pipa dan puncaknya terdapat pada posisi pengukuran 3 pada daerah

I. Untuk debit yang sama pada *elbow* dengan diameter 50,8 mm secara keseluruhan memiliki nilai distribusi tekanan lebih besar dibanding diameter 31,75 mm. Hasil penelitian menunjukkan *elbow* dengan diameter 31,75 mm memiliki kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* lebih besar dibandingkan *elbow* dengan diameter 50,8 mm hal ini dikarenakan besarnya nilai kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* dipengaruhi oleh besarnya nilai bilangan *Reynolds* pada kedua variasi diameter.

Rendy Pramanta (2012), dalam penelitiannya tentang pengaruh *radius* kelengkungan terhadap distribusi tekanan dan kerugian *head* pada *elbow* 90°. Dari penelitian pengaruh variasi *radius* kelengkungan 92,5 mm dan 280 mm terhadap distribusi tekanan dan kerugian *head* pada *elbow* menghasilkan semakin besar bilangan *Reynolds*, maka kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* yang terjadi semakin besar. Kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* pada *radius* kelengkungan 92,5 mm sama-sama lebih besar daripada *radius* kelengkungan 280 mm.

Oleh karena itu, pada studi eksperimen ini dilakukan penelitian lebih lanjut pada instalasi pipa 180° *long radius bend* dengan variasi diameter yang telah ditentukan. Di sini dilakukan analisis pengaruh distribusi tekanan dan *head losses* yang terjadi pada instalasi perpipaan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diambil kesimpulan suatu permasalahan,

yaitu : Bagaimana distribusi tekanan dan kerugian *head* pada 180° *long radius bend* dengan variasi diameter pipa.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tersebut dapat terfokus, maka diperlukan batasan – batasan sebagai berikut.

1. Fluida yang digunakan adalah air dan bersifat *incompressible*.
2. Kerugian *head* yang diteliti hanya pada daerah yang dibagi menjadi 18 titik pengukuran tekanan.
3. Pipa yang digunakan berbahan PVC.
4. Instalasi belokan pipa pada bidang horizontal.
5. Pipa 180° *long radius return bend* dengan diameter 1½ inch (38 mm) dan 2 inch (50,8 mm).

6. Viskositas fluida dianggap konstan.
7. Temperatur konstan selama pengujian 25°C.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tekanan dan *head losses* pada *180° long radius return bend* dengan variasi diameter pipa.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi industri yang menggunakan instalasi perpipaan, dalam usaha mengurangi kerugian energi pada pipa *180° long radius return bend*.
2. Menambah wawasan dalam dunia ilmu pengetahuan khususnya yang berhubungan dengan instalasi yang menggunakan pipa *180° long radius return bend*.
3. Dapat dijadikan referensi tambahan bagi mahasiswa teknik mesin pada khususnya untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fluida

2.1.1 Definisi Fluida

Fluida adalah suatu zat yang berubah bentuk secara terus-menerus (kontinyu) bila terkena tegangan geser, berapapun kecilnya tegangan geser tersebut. Tegangan geser ini timbul akibat adanya gaya geser. Gaya geser yang terjadi adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. (Streeter & Wylie, 1995:3)

2.1.2 Densitas Fluida

Densitas fluida didefinisikan sebagai massa fluida per satuan volume, yang dilambangkan dengan huruf Yunani ρ (*rho*). Kerapatan biasanya digunakan untuk mengkarakteristikan massa sebuah sistem fluida. Dalam sistem SI densitas mempunyai satuan kg/m^3 . Nilai densitas dapat bervariasi cukup besar di antara fluida yang berbeda, namun untuk zat-zat cair variasi tekanan dan temperatur umumnya hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap nilai kerapatan. Namun perilaku yang berbeda ditunjukkan oleh gas. Dimana kerapatan sebuah gas sangat dipengaruhi oleh tekanan dan temperaturnya.

2.1.3 Berat Jenis Fluida

Berat jenis dari sebuah fluida didefinisikan sebagai berat fluida per satuan volume, yang dilambangkan dengan γ (*gamma*). Berat jenis berhubungan dengan densitas melalui persamaan:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (\text{Munson et al., 2002:15}) \quad (2-1)$$

dengan :

γ = berat jenis (N/m^3)

ρ = densitas (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2.1.4 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida yang menjadi ukuran kemampuan dari fluida tersebut dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida. Contohnya oli memiliki viskositas tinggi sedangkan air mempunyai viskositas yang kecil. Hukum Viskositas *Newton* menyatakan bahwa, untuk laju perubahan bentuk sudut fluida tertentu maka tegangan geser berbanding lurus dengan viskositas.

Viskositas gas meningkat dengan naiknya suhu, akan tetapi viskositas cairan akan berkurang dengan naiknya suhu. Hal ini disebabkan karena tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekularnya. Cairan dengan molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya kohesi yang lebih besar daripada gas. Kohesi merupakan penyebab utama viskositas pada cairan, dan karena kohesi akan berkurang dengan naiknya suhu maka viskositasnya juga akan turun. Sebaliknya, gas mempunyai gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanan terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekular.

Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu viskositas dinamik (μ) dan viskositas kinematik (ν), dimana viskositas kinematik adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Secara matematis dinyatakan sebagai :

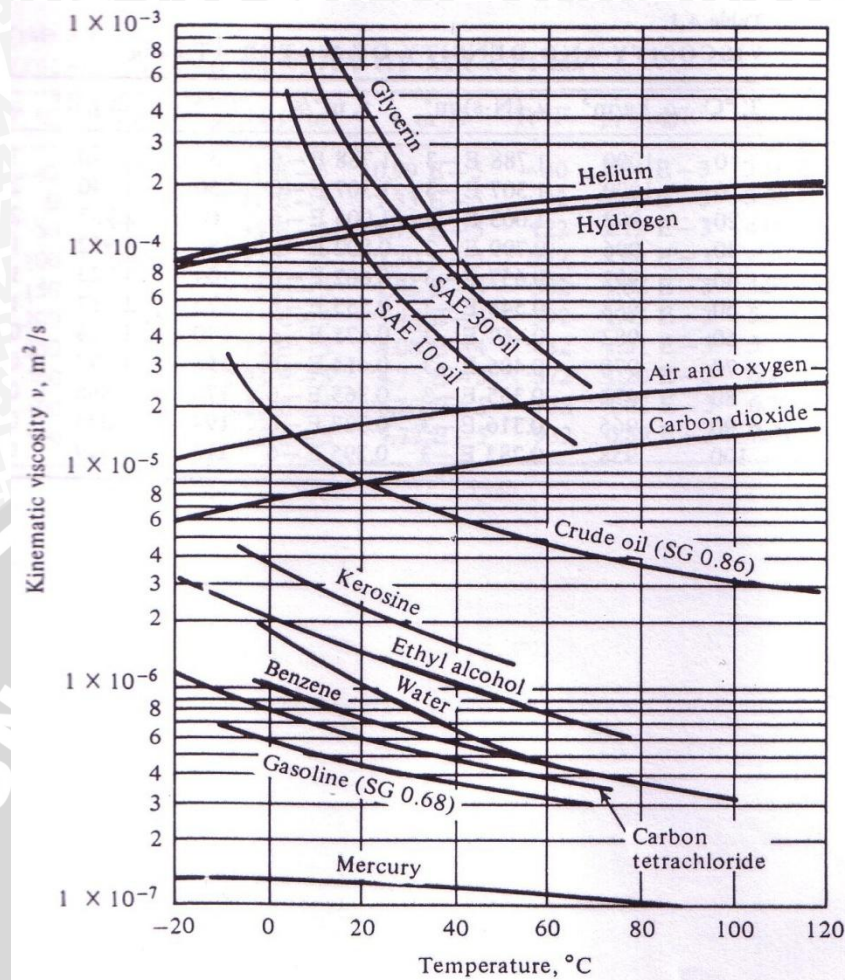
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Franzini \& Finnemore, 1997:36}) \quad (2-2)$$

dengan :

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas dinamik ($\text{N.s}/\text{m}^2$)

ρ = densitas (kg/m^3)



Gambar 2.1 Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm
Sumber : White, 1988:687

Pada Gambar 2.1 terlihat viskositas kinematik dari berbagai fluida pada 1 atm. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositas kinematik (ν) akan menurun seiring meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas sebaliknya, yaitu dengan meningkatnya temperatur maka viskositasnya juga meningkat. Menurut Streeter & Wylie (1995:8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap temperatur dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair yang memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka demikian pula dengan viskositasnya. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekuler.

Viskositas akan bertambah jika pertukaran kalor yang acak antar molekul – molekulnya, sehingga meningkatnya viskositas absolut mengakibatkan viskositasnya juga akan meningkat (Nekrasov, 1959).

Sedangkan viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser / gaya yang bekerja padanya. Secara matematis dapat dituliskan Persamaan 2-3 sebagai berikut :

$$F = \mu \cdot \frac{AU}{t} \quad (\text{Streeter \& Wylie, 1995:4}) \quad (2-3)$$

dengan :

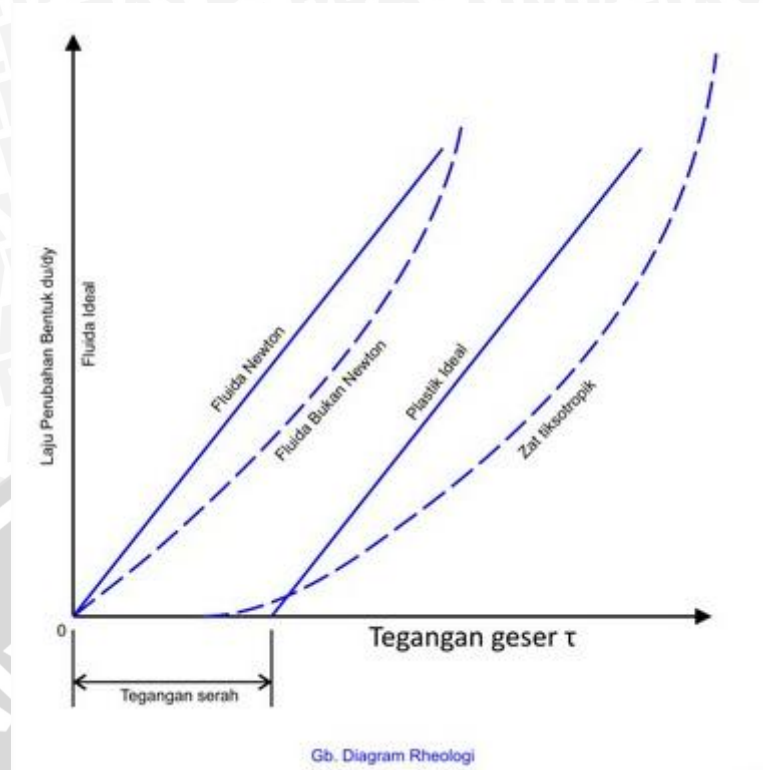
F = gaya geser pada fluida (N)

μ = viskositas absolut (N.s/ m²)

U/t = kecepatan sudut garis ab atau laju perubahan bentuk sudut fluida (m²/s)

2.1.5 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian

Berdasarkan hubungan antara tegangan geser (τ) dengan laju regangan geser du/dy pada hukum viskositas *Newton*, fluida-fluida yang tegangan gesernya berhubungan secara linier terhadap laju perubahan bentuk atau juga sering disebut sebagai laju deformasi angular, digolongkan sebagai fluida *Newtonian*. Sedangkan untuk fluida-fluida yang tegangan gesernya tidak berhubungan secara linier terhadap laju perubahan bentuk digolongkan sebagai fluida *non-Newtonian*. Contoh fluida *Newtonian* adalah air, udara, dan minyak mentah, sedangkan fluida *non-Newtonian* adalah seperti cat lateks, odol, dan mayonise.



Gambar 2.2 Fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian
Sumber : Streeter & Wylie, 1995:5

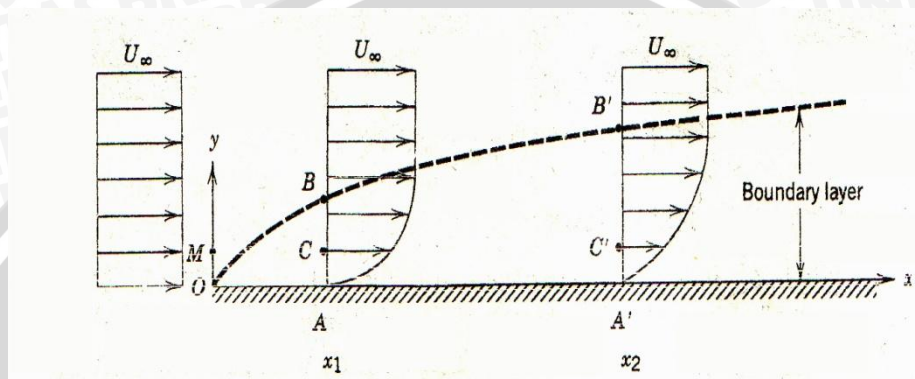
2.1.6 Fluida Mampu Mampat dan Fluida Tak Mampu Mampat

Menurut Franzini & Finnemore (1997 : 4) fluida dibagi menjadi 2 yaitu fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida takmampu mampat (*incompressible*). Fluida tak mampu mampat (*incompressible*) adalah fluida yang mempunyai massa jenis (ρ) konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan tekanan $\frac{d\rho}{dp} = 0$. Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya (ρ) berubah – ubah terhadap tekanan $\frac{d\rho}{dp} > 0$.

2.1.7 Boundary Layer

Boundary layer adalah lapisan tipis fluida pada permukaan benda padat dimana terjadi suatu gradien parameter yang besar. Pada fluida yang mengalir di dalam pipa, terjadi lapisan batas, dimana pada lapisan tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak dari dinding pipa, karena pengaruh dari tegangan geser dinding pipa, sehingga terjadi gradien kecepatan. Pada aliran fluida *viscous* yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida masih dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada daerah tersebut kecepatan bertambah, dari nol (pada permukaan benda) hingga mendekati kecepatan aliran utama (kecepatan fluida di dalam lapisan

batas telah mencapai 99% kecepatan aliran utama). Semakin mendekati permukaan diam (dinding pipa), kecepatan semakin berkurang, sebaliknya semakin menjauh kecepatan aliran semakin bertambah. Daerah ini disebut dengan lapisan batas (*boundary layer*) dengan ketebalan yang sangat tipis. Gradien kecepatan tersebut mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida *viscous* karena besarnya tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan. Gambar 2.3 menjelaskan tentang struktur *boundary layer*.



Gambar 2.3 Struktur *Boundary layer*
Sumber : White.1988 : 390

Pada gambar 2.3 terlihat ketika berada pada O fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Saat fluida melewati A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding, sehingga terjadi gradien kecepatan. Sedangkan ketika fluida pada A' juga terjadi gradien kecepatan, akan tetapi pengurangan kecepatan semakin besar karena jarak fluida mengalir pada dinding semakin jauh, sehingga pengaruh gaya dinding semakin besar terhadap fluida.

2.2 Bilangan *Reynolds*

Bilangan *Reynolds* adalah suatu bilangan tak berdimensi yang menyatakan sifat pokok aliran tertentu pada fluida *incompressible*. Bilangan *Reynolds* merupakan parameter berupa suatu perbandingan kecepatan aliran, dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas fluida. Bilangan *Reynolds* membedakan jenis aliran seperti aliran laminar, transisi atau turbulen di lapisan batas atau di dalam pipa atau di sekitar benda yang terendam.

Persamaan bilangan *Reynolds* untuk aliran di dalam pipa adalah

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\gamma V D}{\mu g} = \frac{V D}{\nu} \quad (\text{Potter \& Wiggert, 1997:260}) \quad (2-4)$$

dengan :

v = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

D = diameter pipa (m)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas absolut/dinamik ($\text{N.s}/\text{m}^2$)

ρ = densitas (kg/m^3)

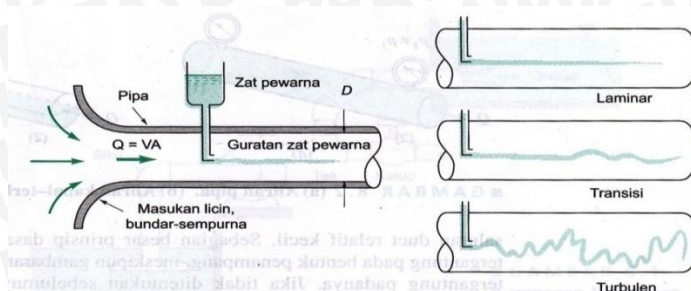
γ = berat jenis fluida (N/m^3)

2.3 Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran laminar adalah aliran dimana struktur alirannya terdiri dari gerakan partikel - partikel fluida yang mengalir mengikuti lintasan terpisah yang tidak berpotongan satu sama lainnya, dengan sedikit atau tanpa pusaran. Ciri aliran laminar adalah kecepatan alirannya rendah, dimensi *linear* yang kecil, dan viskositas yang besar.

Aliran turbulen adalah suatu aliran dimana partikel-partikel fluidanya mengalir tidak beraturan dan lintasannya saling berpotongan antara satu dengan yang lain. Ciri aliran turbulen adalah kecepatan aliran yang tinggi, dimensi *linear* yang besar, dan viskositas fluida yang rendah.

Pada gambar 2.4 di bawah ini merupakan suatu contoh eksperimen untuk mengilustrasikan jenis aliran. Jika air mengalir melalui sebuah pipa berdiameter D dengan kecepatan rata-rata V , sifat-sifat berikut ini dapat diamati dengan menginjeksikan zat pewarna yang mengambang seperti ditunjukkan. Untuk “laju aliran yang cukup kecil” guratan zat pewarna (sebuah garis-gurat) akan tetap berupa garis yang terlihat jelas selama mengalir, dengan hanya sedikit saja menjadi kabur karena difusi molekuler dari zat pewarna ke air di sekelilingnya. Untuk suatu “laju aliran sedang” yang lebih besar, guratan zat pewarna berfluktuasi menurut waktu dan ruang, dan olakan putus-putus dengan perilaku tak beraturan muncul di sepanjang guratan. Sementara itu, untuk “laju aliran yang cukup besar” guratan zat pewarna dengan sangat segera menjadi kabur dan menyebar di seluruh pipa dengan pola yang acak. Ketiga karakteristik ini, yang masing-masing disebut sebagai aliran laminar, transisi, dan turbulen.



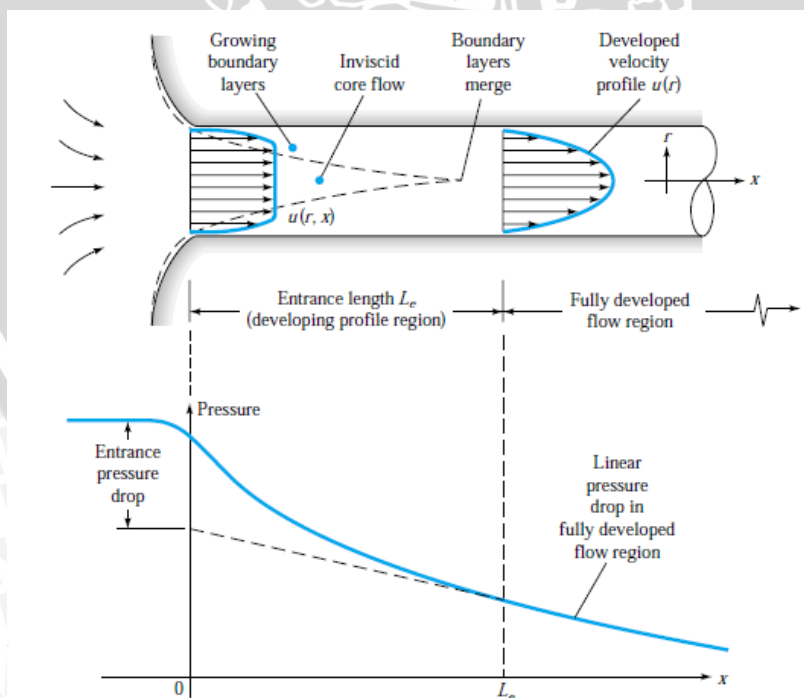
Gambar 2.4 Eksperimen ilustrasi jenis aliran dengan guratan zat pewarna yang khas

Sumber : Munson *et al.* 2003:6

Aliran laminar dan turbulen sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dari fluida yang mengalir, misalnya kecepatan aliran, densitas, viskositas, dan diameter saluran. Untuk mengetahui aliran laminar atau turbulen dapat dilihat dari Bilangan *Reynolds*.

Bilangan *Reynolds* (Re) merupakan suatu nilai yang dipakai untuk menunjukkan jenis aliran, yaitu aliran laminar atau turbulen. Menurut Streeter & Wylie (1995:177), untuk aliran di dalam pipa, aliran bersifat laminar bila $Re < 2000$ dan aliran bersifat turbulen jika $Re > 4000$. Bilangan *Reynolds* dipengaruhi oleh dimensi saluran, kecepatan aliran, rapat massa, dan viskositas dari fluida yang mengalir.

2.4 Aliran Fully Developed (Berkembang Penuh)



Gambar 2.5 Aliran berkembang penuh di dalam sebuah sistem pipa

Sumber : White. 1988:294

Setiap fluida yang mengalir dalam sebuah pipa harus memasuki pipa pada suatu lokasi. Daerah aliran di dekat lokasi fluida memasuki pipa disebut sebagai daerah masuk (*entrance region*), seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.5. Fluida biasanya memasuki pipa dengan profil kecepatan yang hampir seragam pada bagian (1). Selagi fluida bergerak melewati pipa, efek viskos menyebabkannya tetap menempel pada dinding pipa. sehingga, sebuah lapisan batas (*boundary layer*) timbul di sepanjang dinding pipa sedemikian hingga profil kecepatan awal berubah menurut jarak sepanjang pipa, x , sampai fluida mencapai ujung akhir dari panjang daerah masuk, bagian (2), dimana setelah di luar itu profil kecepatan tidak berubah lagi menurut x . Hal ini disebabkan setelah aliran mencapai bagian (2), lapisan batas telah mengembang dan mencapai garis pusat pipa. Dan ketika bentuk profil kecepatan sudah tidak lagi berubah terhadap bertambahnya jarak tempuh fluida terhadap pipa maka aliran itu disebut aliran *fully developed*. Bentuk aktual dari profil kecepatan aliran yang telah berkembang penuh (*fully developed*) tergantung dari apakah aliran tersebut laminar atau turbulen.

Jarak dari awal masuk pipa sampai aliran berkembang penuh (*fully developed*) terjadi disebut *entrance length*. *Entrance length* merupakan suatu fungsi dari bilangan *Reynold*.

Rumus *Entrance length* adalah :

$$\frac{\ell_e}{D} = 0,06 \text{ Re} \quad (\text{Munson et al., 2003:9}) \quad (2-5)$$

dengan :

ℓ_e = *entrance length* (m)

D = diameter pipa (m)

Re = bilangan Reynold

2.5 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan penurunan dari hukum kekekalan massa fluida, yakni jumlah massa yang mengalir tiap satuan waktu sepanjang *stream tube* adalah konstan. Hukum kekekalan massa, dapat dituliskan dengan persamaan kontinuitas, yaitu:

$m = \text{konstan}$

$m_1 = m_2$

$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$ (White, 1988:302) (2-6)

dengan :

ρ = densitas (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

Jika fluida yang mengalir di dalam pipa adalah *incompressible* maka $\rho_1 = \rho_2$.

Sehingga persamaan kontinuitas dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{White, 1988:302}) \quad (2-7)$$

dengan :

A = luas penampang pipa (m^2)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

2.6 Persamaan Bernoulli

Persamaan *Bernoulli* untuk fluida ideal menyatakan hukum kekekalan energi pada fluida. Dalam mendapatkan persamaan *Bernoulli* terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan yaitu fluida ideal, tak memiliki viskositas, tak mampu mampat (*incompressible*), dan massa jenis fluida (ρ) konstan. Karena fluida yang bekerja adalah fluida ideal tak memiliki viskositas maka tidak ada kerugian energi selama fluida mengalir, maka akan didapatkan energi spesifik atau energi per satuan berat fluida (*head*) sebagai berikut :

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (\text{Streeter \& Wylie, 1995:100}) \quad (2-8)$$

dengan :

v = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

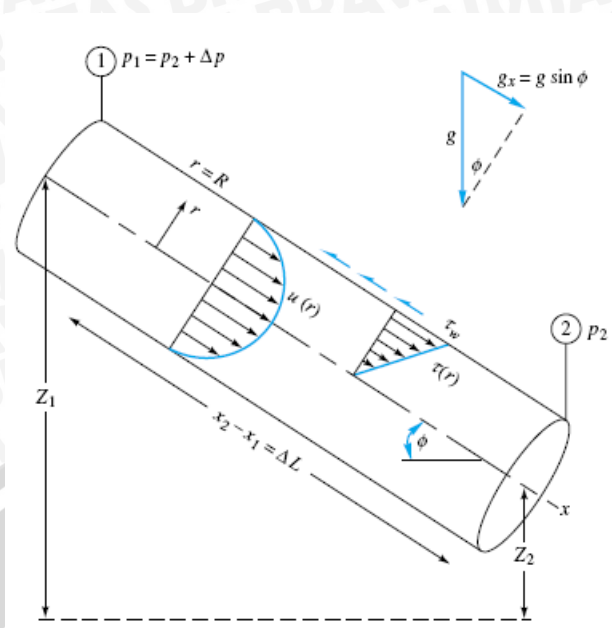
p = tekanan pada cairan (N/m^2)

ρ = massa jenis (kg/s^2)

Z = elevasi (m)

Jika aliran tetap / tenang pada suatu fluida ideal yang terletak antara 2 titik pada seperti pada gambar 2.6 suatu aliran laminar akan mempunyai energi spesifik dari persamaan diatas maka dapat juga dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + Z_2 \quad (\text{Streeter \& Wylie, 1995 : 101}) \quad (2-9)$$



Gambar 2.6 Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring.
Sumber : White. 1988:302

2.7 Persamaan Bernoulli Untuk Fluida Real

Persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut.

Pada fluida real total energi yang dimiliki fluida tidak konstan, karena ada kerugian energi selama fluida mengalir. Untuk aliran fluida real di dalam pipa ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu fluida memiliki viskositas yang menyebabkan distribusi kecepatan pada penampang melintang saluran tidak seragam dan mengakibatkan kerugian energi (*head losses*). Ketika fluida berviskositas mengalir di dalam pipa, aliran diperlambat oleh gaya viskositas dan adhesi antara molekul fluida dan dinding pipa. Variasi kecepatan terjadi ketika lapisan - lapisan fluida saling terpengaruh satu sama lain karena gaya gesek atau tegangan geser yang disebabkan perbedaan kecepatan antara lapisan fluida. Fluida berviskositas memiliki partikel-partikel yang sering bergerak tak teratur yang dapat menyebabkan timbulnya *vortex* atau *swirl* dan hal ini dapat mengakibatkan kerugian energi pada fluida.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h \quad (\text{Nekrasov, 1959: 59}) \quad (2-10)$$

Persamaan di atas adalah persamaan *Bernoulli* untuk fluida real. Persamaan ini berbeda dengan persamaan *Bernoulli* untuk fluida ideal. Pada persamaan ini di tampilkan *head loss* ($\sum h$) karena pada fluida real terjadi kerugian energi dan juga α yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida real tidak seragam. Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut.

2.8 *Head Losses*

Head losses adalah kerugian energi yang dialami fluida ketika fluida tersebut mengalir. Besarnya *head losses* tergantung pada bentuk, ukuran dan kekasaran saluran.

Head losses dibedakan menjadi dua macam, *major losses* dan *minor losses*. *Major losses* adalah energi yang hilang sepanjang pipa lurus yang seragam dan sebanding dengan panjang pipa. *Losses* ini disebabkan karena gesekan internal fluida dan juga gesekan antara fluida dan dinding saluran, maka di semua pipa baik pipa halus atau pipa kasar muncul *major losses*.

Rumusan untuk *major losses* yang juga disebut sebagai persamaan *Darcy-Weisbach* adalah:

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1959:60}) \quad (2-11)$$

dengan :

h = *major losses* (m)

λ = faktor gesek

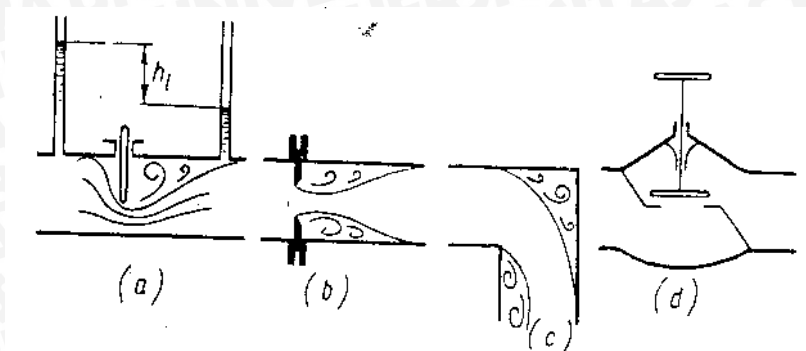
l = panjang pipa (m)

d = diameter pipa (m)

v = kecepatan fluida (m/s)

Minor losses adalah kerugian energi yang dialami fluida disebabkan oleh bentuk lokal dari saluran, seperti perubahan luas penampang, katup, belokan, *orifice*. *Minor losses*

terjadi karena aliran yang mengalir melewati bentuk lokal dari saluran mengalami perubahan kecepatan, arah atau besarnya, maupun keduanya.



Gambar 2.7 Bentuk - bentuk lokal saluran
Sumber : Nekrasov, 1959:61

Minor losses dapat dirumuskan:

$$h = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

(Nekrasov, 1959:61) (2-12)

dengan :

h = major losses (m)

ξ = koefisien kerugian pada *minor losses*

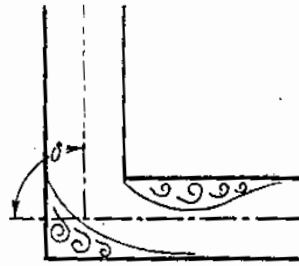
l = panjang pipa (m)

d = diameter pipa (m)

v = kecepatan fluida (m/s)

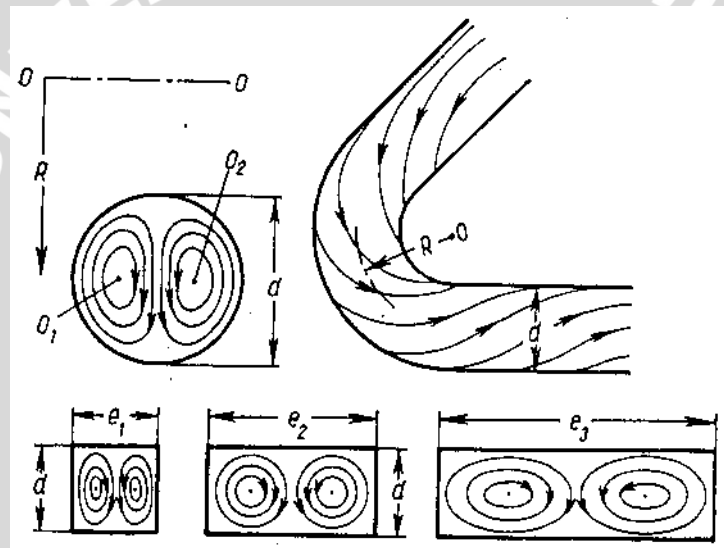
2.9 Minor Losses pada Belokan

Belokan menyebabkan kerugian energi pada aliran fluida yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan (δ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah keluar aliran. Belokan halus atau *circular* cenderung mengurangi turbulensi yang menghambat aliran bila dibandingkan dengan belokan yang kasar dan siku.



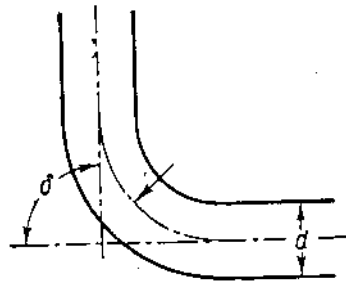
Gambar 2.8 Belokan siku
Sumber : Nekrasov. 1959:118

Losses yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida.



Gambar 2.9 Profil aliran melewati belokan
Sumber : Nekrasov. 1959:117

Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Karena kecepatan fluida yang tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, maka gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal pada lapisan batas. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.



Gambar 2.10 Belokan *circular* 90°
Sumber : Nekrasov. 1959:114

Untuk menentukan besarnya *minor losses* pada belokan, koefisien kerugian pada belokan (ζ_{bend}) harus dicari. Rumusan *minor losses* menurut Weisbach :

$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1959: 61}) \quad (2-13)$$

dengan :

h = *major losses* (m)

ζ = koefisien kerugian pada *minor losses*

l = panjang pipa (m)

d = diameter pipa (m)

v = kecepatan fluida (m/s)

Koefisien kerugian belokan tergantung pada rasio jari-jari belokan terhadap diameter pipa ($\frac{R}{d}$) atau bisa disebut radius belokan relatif, sudut belokan (δ) dan bentuk penampang pipa.

Perumusan koefisien kerugian belokan pada pipa *circular* menurut Professor G. N. Abramovich :

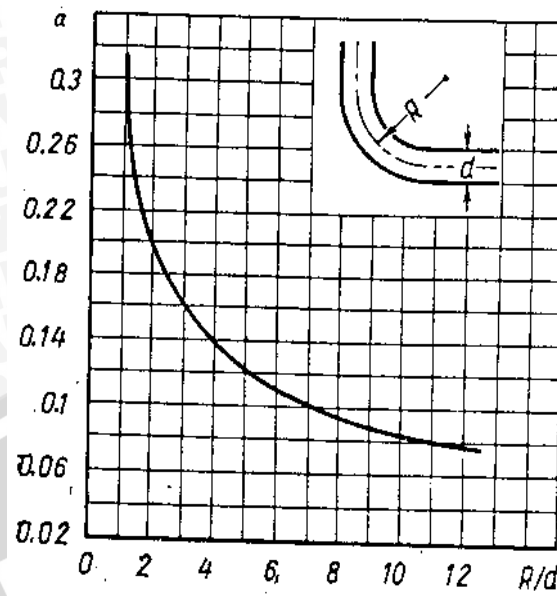
$$\zeta_{\text{bend}} = 0,73 \, abc \quad (\text{Nekrasov, 1959:115}) \quad (2-14)$$

dengan :

a = fungsi dari radius belokan relatif ($\frac{R}{d}$)

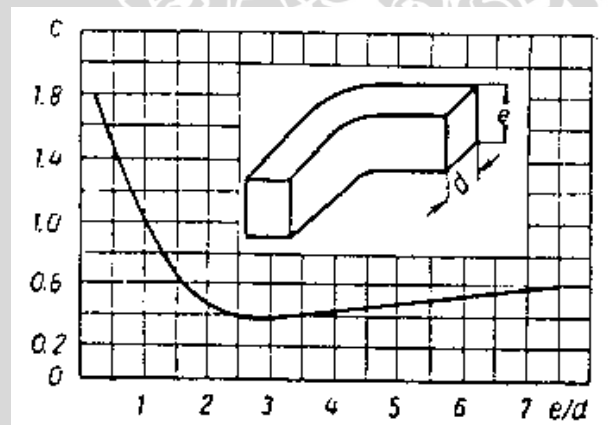
b = fungsi dari sudut belokan (δ)

c = fungsi dari aspek rasio pipa ($\frac{e}{d}$)



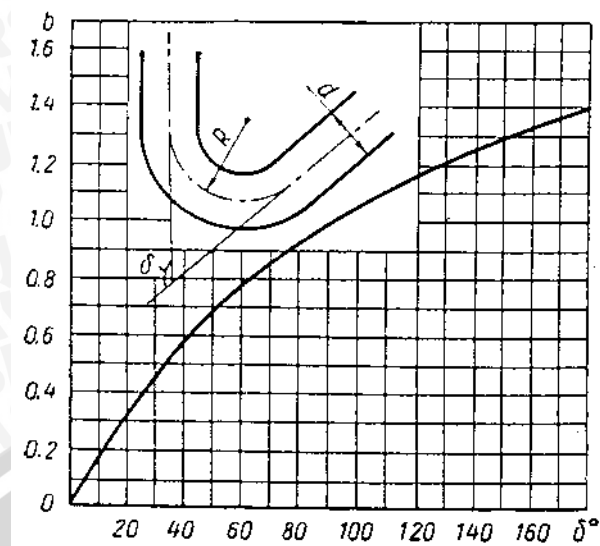
Gambar 2.11 Grafik hubungan $(\frac{R}{d})$ terhadap nilai α

Sumber : Nekrasov. 1959:115



Gambar 2.12 Grafik hubungan $(\frac{e}{d})$ terhadap nilai c

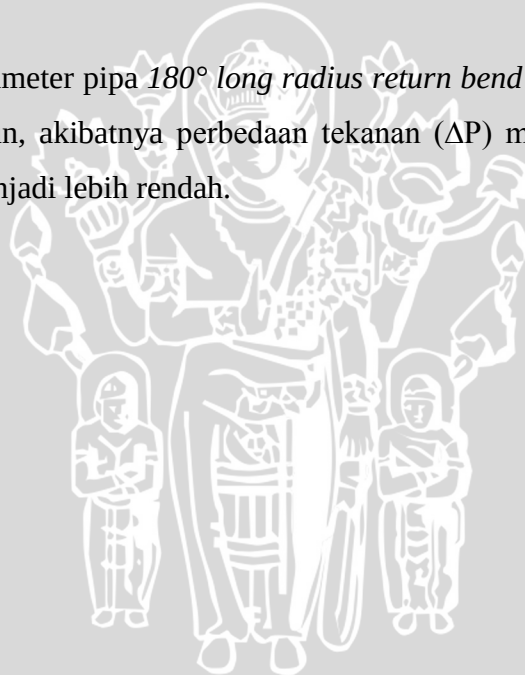
Sumber : Nekrasov. 1959:116



Gambar 2.13 Grafik hubungan (δ) terhadap nilai b
 Sumber : Nekrasov. 1959:116

2.10 Hipotesis

Semakin besar diameter pipa *180° long radius return bend* maka kecepatan rata-rata aliran fluida menurun, akibatnya perbedaan tekanan (ΔP) menurun dan kerugian tekanan (*head losses*) menjadi lebih rendah.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan terhadap proses. Pengaruh dari beberapa perlakuan yang berbeda terhadap suatu percobaan akan dibandingkan sehingga diperoleh suatu kejadian yang saling berhubungan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2012 di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Fakultas Teknik, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas dalam penelitian yaitu

1. Variasi diameter pipa yang digunakan dengan $D = 1\frac{1}{2}$ " (38 mm) dan $D = 2$ " (50,8 mm)
2. Variasi kecepatan aliran fluida pada kedua diameter pipa didapat dari debit aliran fluida $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $1200 \text{ m}^3/\text{s}$, $1400 \text{ m}^3/\text{s}$, $1600 \text{ m}^3/\text{s}$, $1800 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $2000 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah dilakukan penelitian. Dengan adanya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat akan menghasilkan perubahan nilai dari variabel terikat tersebut. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tekanan fluida, dan *head losses*.

3. Variabel Terkontrol (*Controlled Variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah pemasangan seksi uji secara horizontal dan diameter kelengkungan kedua diameter yaitu 25 cm.

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Pompa

Alat ini digunakan untuk memompakan air ke seluruh jaringan belokan pipa uji dan dikembalikan lagi ke bak penampung.

Spesifikasi pompa :

- Laju aliran = 1,35 liter/det
- *Head* pompa = 15 m
- Putaran = 5000 rpm
- Daya motor penggerak = 0,35 kW



Gambar 3.1 Pompa

2. Bak penampung / *Hydraulic Bench*

Bak penampung digunakan untuk menampung air yang dialirkan oleh pompa dan pembuangan dari jaringan pipa.



Gambar 3.2 Bak penampung / *Hydraulic Bench*

3. Flowmeter

Flowmeter seperti pada Gambar 3.3 berfungsi untuk mengukur debit aliran air yang melalui belokan pipa uji. Kapasitas *Flowmeter* yang digunakan 0 – 2000 liter/jam



Gambar 3.3 *Flowmeter*

4. Katup (valve)

Katup (valve) digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui jaringan pipa.



Gambar 3.4 Katup (valve)

5. Manometer H₂O

Manometer air raksa pada gambar 3.5 digunakan untuk mengukur tekanan di dalam fluida yang bergerak (tekanan statis).



Gambar 3.5 Manometer H₂O

6. Pipa Air

Pipa yang digunakan adalah pipa PVC, diameter pipa 1½" (38 mm) dan 2" (50,8 mm).



Gambar 3.6 Pipa Air (PVC)

7. Pipa 180° long radius return bend

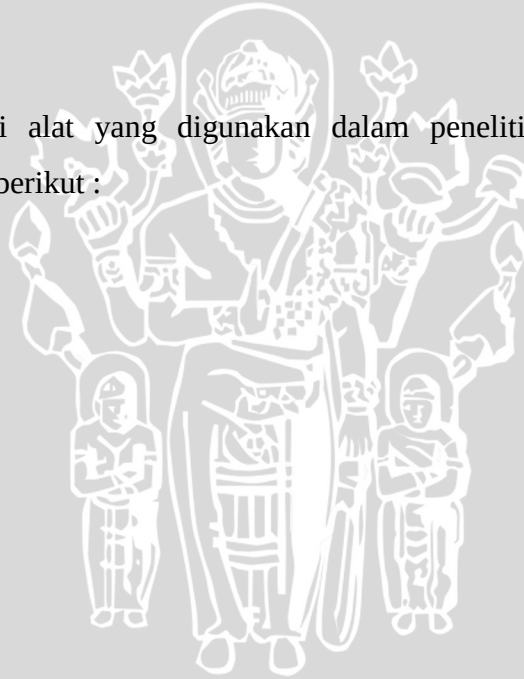
Pipa 180° long radius return bend yang digunakan adalah D = 1½" (38 mm) dan D = 2" (50,8 mm), serta diameter kelengkungan 25 cm.

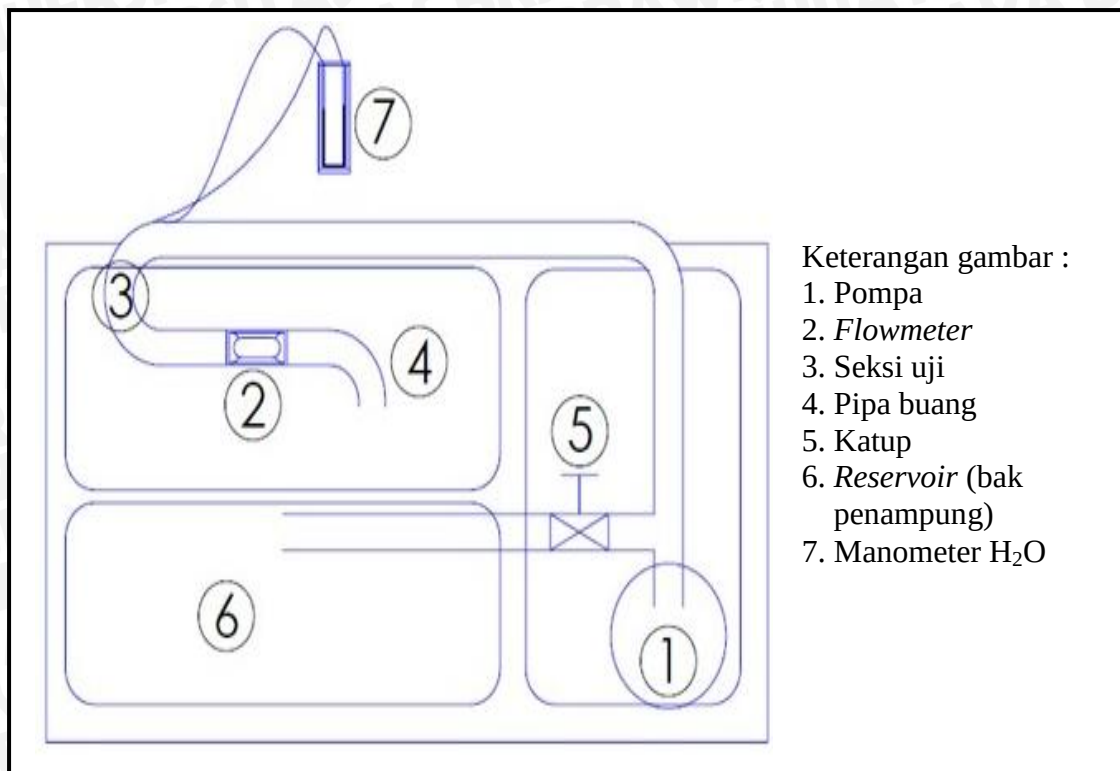


Gambar 3.7 Penampang pipa 180° long radius return bend

3.5 Instalasi Penelitian

Adapun instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat sebagaimana gambar 3.8 berikut :





Gambar 3.8 Instalasi penelitian

3.6 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah pelaksanaan yang dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat dan logis. Adapun tahapannya sebagai berikut :

1. Pada tahap awal dilakukan persiapan - persiapan sebelum penelitian dimulai. Pada tahap ini dilakukan pemasangan instalasi perpipaan dan alat ukur yang digunakan yaitu manometer air raksa.
2. Setelah seksi uji terpasang dan semua sambungan antarpipa dipastikan rapat dan bebas dari kebocoran, maka pompa dihidupkan.
3. Pada waktu aliran melalui pipa buang dan *flowmeter* terlihat stabil, maka diatur debit alirannya dengan mengatur katup pada posisi pembukaan 100%.
4. Langkah selanjutnya adalah melakukan variasi debit aliran, dengan debit paling rendah 1000 L/jam, hal ini dilakukan dengan jalan mengatur debit aliran pada *flowmeter*.
5. Pada masing - masing variasi debit, kita lakukan pencatatan data penelitian yang diambil yaitu h_{air} pada manometer H_2O
6. Setelah selesai pengambilan data untuk satu seksi uji, kemudian pompa dimatikan, dan dilakukan pengesetan alat untuk seksi uji yang kedua.

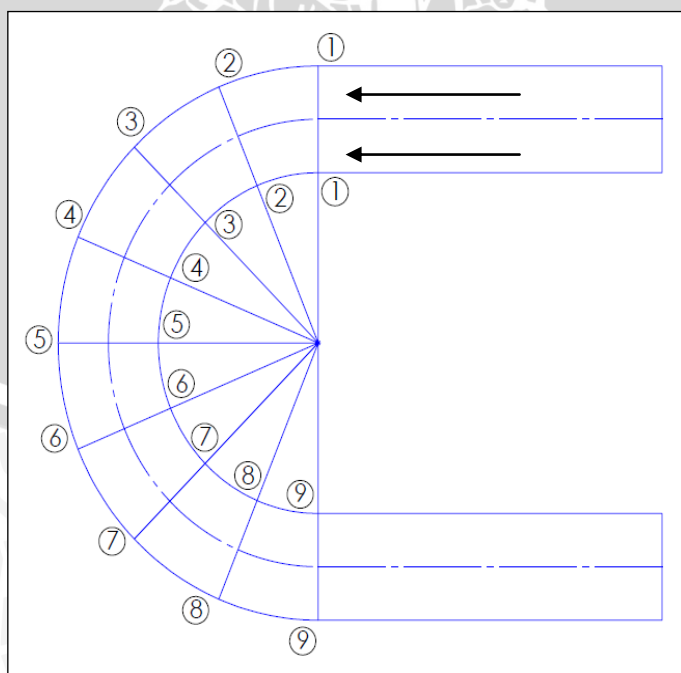
7. Apabila pemasangan seksi uji yang kedua telah selesai, maka langkah nomor dua sampai enam diulangi untuk mendapatkan data - data h_{air} .
8. Pada tahap ini dilakukan pembersihan tempat penelitian dan mengembalikan alat-alat penelitian seperti semula.

3.7 Rencana Pengambilan Data

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan data dilakukan dengan cara pengukuran tekanan menggunakan manometer air raksa dengan enam variasi debit aliran yang diukur pada *flowmeter* terhadap delapan belas lubang posisi pengukuran pada daerah dinding - dinding pipa 180° long radius return bend yang dibagi menjadi dua daerah seperti gambar 3.9 di bawah ini dengan variasi dua diameter pipa yang berbeda. Tujuannya adalah untuk mengetahui distribusi tekanan di setiap lubang secara menyeluruh pada dinding-dinding pipa tersebut. Sehingga nantinya juga dapat diketahui besarnya kerugian *head* pada variasi dua diameter pipa yang berbeda.

Adapun dua daerah tersebut adalah :

- Daerah I : daerah kelengkungan dalam dari pipa 180° long radius return bend
- Daerah II : daerah kelengkungan luar dari pipa 180° long radius return bend



Gambar 3.9 Posisi titik pengukuran pada pipa 180° long radius return bend

Semua pengambilan data itu dilakukan untuk tiap-tiap variasi debit aliran dan bilangan *Reynolds* sebagai variabel bebas dan variasi diameter pipa *180° long radius return bend* sebagai variabel terkontrol.

3.8 Teknik Analisa Data

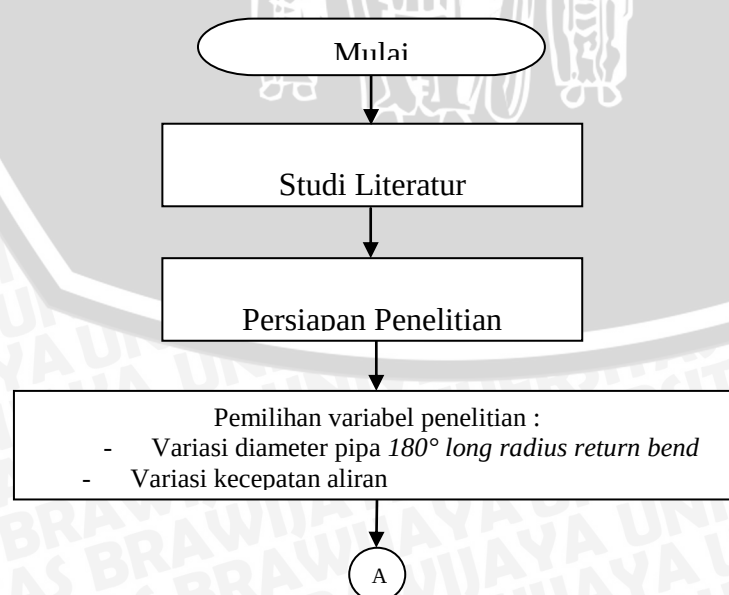
Analisa data dalam penelitian ini adalah dengan teknik statistik deskriptif yaitu teknik yang digunakan untuk mendeskripsikan atau menyampaikan hasil penelitian dalam bentuk grafik.

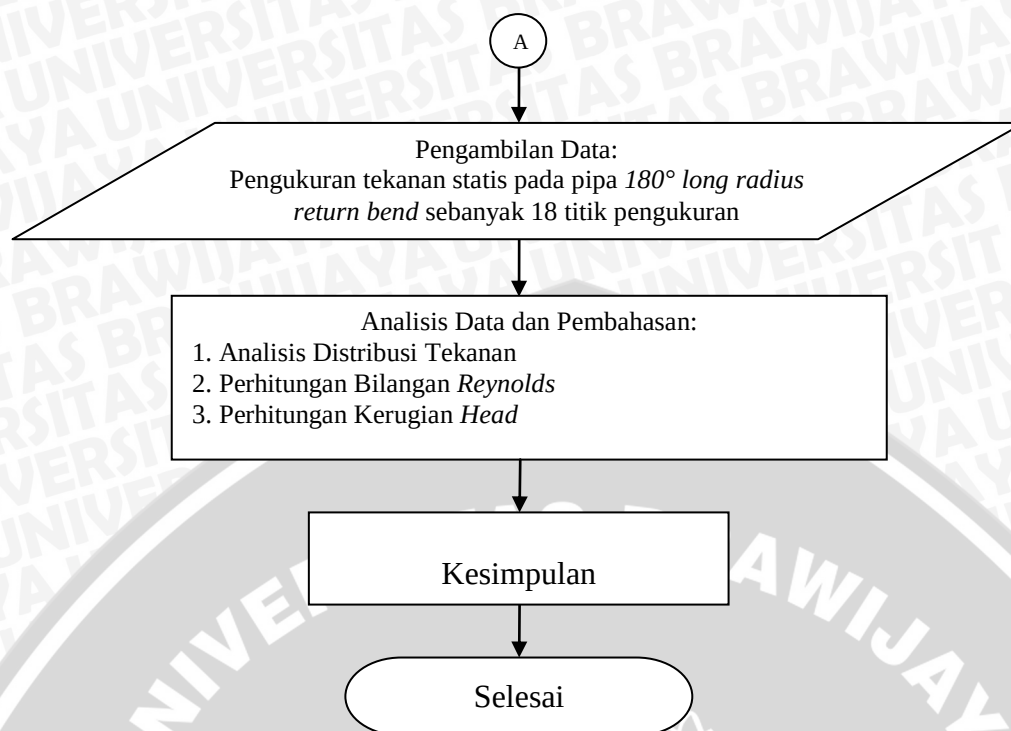
Data yang diambil dalam penelitian ini adalah nilai tekanan dengan enam variasi debit air pada dua diameter yang berbeda. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara distribusi tekanan dengan posisi pengukuran tekanan pada dua variasi diameter pipa *180° long return bend* dan enam variasi debit air. Serta grafik hubungan antara kerugian *head* dan koefisien kerugian *head* yang terjadi dengan bilangan Reynold pada dua variasi diameter pipa *180° long return bend* dan enam variasi debit air pula.

Grafik yang didapat kemudian dibandingkan, sehingga akan terlihat pengaruh variasi diameter pipa *180° long return bend* terhadap distribusi tekanan kerugian *head* yang terjadi.

3.9 Diagram Alir Proses Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengikuti diagram alir penelitian seperti gambar 3.10 dibawah ini.





Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan data hasil penelitian analisis distribusi tekanan dan *head losses* pada *180° long radius return bend* dengan variasi diameter pipa yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 sampai dengan 4.2.



Tabel 4.1 Distribusi Tekanan pada 180° long radius return bend dengan diameter $1\frac{1}{2}$ " (38 mm) dan 2" (50,8 mm)

D (mm)	Q (m ³ /s)	Tekanan (Pa)																	
		Daerah 1									Daerah 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	2000	6084,1247	5849,3675	5805,3505	6079,2339	5937,4015	5673,2996	5849,3675	5898,2753	5878,7122	5942,2922	6123,2509	6247,9657	6372,6805	5947,1830	5900,7206	5893,3845	5920,2837	6005,8723
	1800	4778,2877	4631,5644	4575,3205	4846,7585	4670,6906	4538,6397	4660,9091	4653,5729	4663,3544	4756,2792	4973,9187	5025,2718	5208,6759	4868,7670	4814,9685	4724,4891	4702,4806	4744,0522
	1600	3616,7285	3597,1654	3550,7030	3646,0731	3484,6775	3401,5344	3528,6945	3587,3838	3580,0477	3707,2078	3761,0064	3736,5525	3844,1495	3567,8207	3511,5768	3599,6108	3599,6108	3624,0646
	1400	2616,5649	2594,5564	2513,8586	2645,9095	2540,7579	2418,4885	2418,4885	2467,3962	2501,6317	2623,9011	2697,2627	2741,2797	2843,9860	2663,0273	2636,1280	2636,1280	2648,3549	2653,2457
	1200	1753,3430	1736,2253	1684,8722	1834,0408	1706,8806	1567,4935	1604,1744	1677,5360	1682,4268	1865,8309	1948,9740	2007,6633	2110,3696	1794,9146	1760,6792	1797,3600	1843,8224	1858,4947
	1000	1093,0883	1073,5252	1027,0629	1151,7776	1014,8359	926,8020	1002,6090	1049,0713	1073,5252	1151,7776	1234,9208	1249,5931	1349,8540	1164,0046	1124,8784	1132,2145	1132,2145	1117,5422
50,8	2000	6128,1417	5868,9306	5824,9136	6130,5871	5827,3590	5761,3335	5873,8214	5956,9646	5988,7546	6000,9815	6018,0993	6128,1417	6475,3868	6135,4779	5893,3845	5925,1745	5954,5192	6003,4269
	1800	4773,3969	4585,1020	4648,6821	4878,5486	4690,2537	4523,9673	4602,2197	4575,3205	4692,6991	4775,8423	4795,4054	4836,9770	5039,9442	4810,0777	4675,5814	4572,8751	4565,5389	4731,8253
	1600	3753,6702	3506,6860	3501,7953	3719,4348	3521,3584	3384,4166	3421,0975	3462,6691	3616,7285	3580,0477	3636,2916	3687,6447	3814,8049	3589,8292	3489,5683	3435,7698	3470,0052	3604,5015
	1400	2721,7166	2523,6402	2587,2202	2692,3719	2597,0018	2433,1608	2518,7494	2516,3040	2555,4302	2677,6996	2829,3136	2912,4568	2976,0369	2714,3804	2672,8088	2714,3804	2697,2627	2760,8428
	1200	1904,9571	1736,2253	1819,3685	1887,8393	1763,1246	1616,4013	1748,4522	1697,0991	1746,0069	1807,1415	1812,0323	1831,5954	2014,9995	1804,6962	1821,8139	1843,8224	1870,7216	1900,0663
	1000	1271,6016	1110,2060	1122,4330	1198,2400	1127,3238	1022,1721	1110,2060	1127,3238	1173,7861	1190,9038	1212,9123	1183,5677	1327,8455	1203,1308	1210,4669	1222,6939	1217,8031	1252,0385

Tabel 4.2 Kerugian *head* pada 180° long radius return bend dengan diameter $1\frac{1}{2}$ " (38 mm) dan 2" (50,8 mm)

D (mm)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	ΔP (Pa)	Ek (m)	Re	hl (m)
38	0,001134	5,556E-04	0,4899	70,9162	0,0122	20754,18071	0,00725
		5,000E-04	0,4409	63,5801	0,0099	18678,76264	0,00650
		4,444E-04	0,3919	59,9120	0,0078	16603,34457	0,00612
		3,889E-04	0,3429	42,7943	0,0060	14527,92650	0,00438
		3,333E-04	0,2939	39,1262	0,0044	12452,50843	0,00400
		2,778E-04	0,2450	26,8993	0,0031	10377,09036	0,00275
50,8	0,002026	5,556E-04	0,2742	68,4709	0,0038	15529,56615	0,00700
		5,000E-04	0,2468	62,3574	0,0031	13976,60954	0,00637
		4,444E-04	0,2194	56,2439	0,0025	12423,65292	0,00575
		3,889E-04	0,1919	41,5716	0,0019	10870,69631	0,00425
		3,333E-04	0,1645	33,0127	0,0014	9317,73969	0,00338
		2,778E-04	0,1371	18,3404	0,0010	7764,78308	0,00187

4.1.2 Pengolahan Data

Parameter - parameter yang diperoleh untuk mencari kecepatan fluida, tekanan fluida, dan kerugian *head* dalam penelitian analisis distribusi tekanan dan *head losses* pada 180° long radius return bend adalah sebagai berikut.

- Suhu air (T_{H_2O}) = 25°C
- Densitas air (ρ_{H_2O}) = 997,1 kg/m³
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
- Viskositas kinematis air (ν) = 0,897 x 10⁻⁶ m²/s

Dari parameter-parameter yang diketahui di atas, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Contoh perhitungan pada posisi titik pengukuran 3, Daerah 2, dengan diameter pipa 38 mm serta debit aliran 2000 m³/s

1. Tekanan fluida

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

Maka untuk mencari tekanan fluida adalah sebagai berikut :

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

$$= 997,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,638 \text{ m} \cdot H_2O$$

$$= 6247,9657 \text{ N/m}^2$$

2. Kerugian head

Untuk melakukan perhitungan kerugian *head* ada beberapa parameter yang harus diketahui terlebih dahulu nilainya yaitu:

a. Luas Penampang Saluran Pipa

Diameter pipa yang digunakan 38 mm atau sama dengan 0.038 m, maka untuk menghitung luas penampang menggunakan rumus luas penampang lingkaran sebagai berikut:

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (0,038^2) \\ = 0,001134 \text{ m}^2$$

b. Kapasitas aliran fluida

Dalam penelitian ini kapasitas aliran fluida divariasikan menjadi enam variasi debit, yaitu:

$$Q_1 = 2000 \text{ l/h} = \frac{2000}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5,556 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 1800 \text{ l/h} = \frac{1800}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 1600 \text{ l/h} = \frac{1600}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4,444 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_4 = 1400 \text{ l/h} = \frac{1400}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3,889 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_5 = 1200 \text{ l/h} = \frac{1200}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3,333 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_6 = 1000 \text{ l/h} = \frac{1000}{3600} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,778 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

c. Kecepatan aliran fluida

$$V_1 = \frac{Q_1}{A} = \frac{5,556 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,001134 \text{ m}^2} = 0,4899 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{A} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,001134 \text{ m}^2} = 0,4409 \text{ m/s}$$

$$V_3 = \frac{Q_3}{A} = \frac{4,444 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,001134 \text{ m}^2} = 0,3919 \text{ m/s}$$

$$V_4 = \frac{Q_4}{A} = \frac{3,889 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,001134 \text{ m}^2} = 0,3429 \text{ m/s}$$

$$V_5 = \frac{Q_5}{A} = \frac{3,333 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,001134 \text{ m}^2} = 0,2939 \text{ m/s}$$

$$V_6 = \frac{Q_6}{A} = \frac{2,778 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,001134 \text{ m}^2} = 0,245 \text{ m/s}$$

d. Bilangan Reynolds

$$Re_1 = \frac{V_1 \cdot D_1}{\nu} = \frac{0,4899 \text{ m/s} \cdot 0,038 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 20754,18071$$

$$Re_2 = \frac{V_2 \cdot D_1}{\nu} = \frac{0,4409 \text{ m/s} \cdot 0,038 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 18678,76264$$

$$Re_3 = \frac{V_3 \cdot D_1}{\nu} = \frac{0,3919 \text{ m/s} \cdot 0,038 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 16603,34457$$

$$Re_4 = \frac{V_4 \cdot D_1}{\nu} = \frac{0,3429 \text{ m/s} \cdot 0,038 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 14527,9265$$

$$Re_5 = \frac{V_5 \cdot D_1}{\nu} = \frac{0,2939 \text{ m/s} \cdot 0,038 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 12452,50843$$

$$Re_6 = \frac{V_6 \cdot D_1}{\nu} = \frac{0,245 \text{ m/s} \cdot 0,038 \text{ m}}{0,897 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 10377,09036$$

e. Kerugian head

$$h_L = \frac{\Delta p}{\gamma}$$

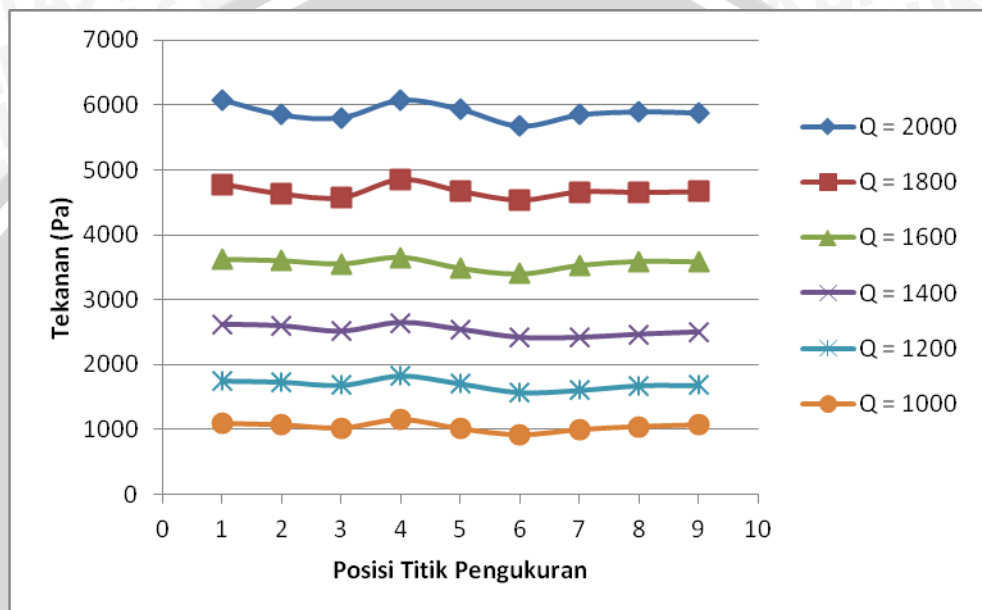
$$h_L = \frac{39,1262 \text{ N/m}^2}{997,1 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,004 \text{ m}$$

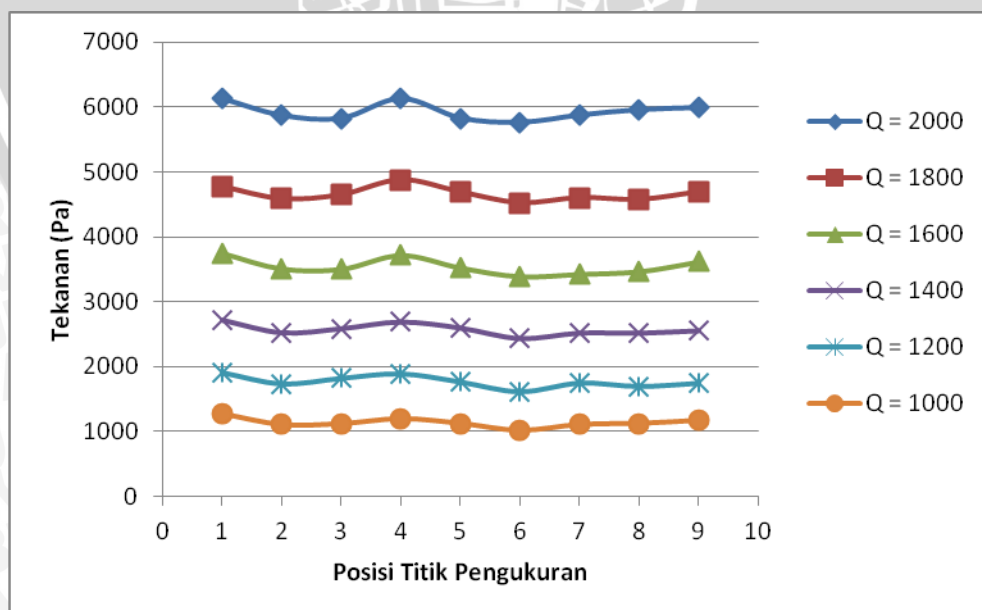
4.2 Pembahasan

4.2.1 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada 180° Long Radius Return Bend dengan Variasi Diameter pada Daerah I.

Adapun grafik hubungan posisi titik pengukuran dengan distribusi tekanan pada 180° long radius return bend pada variasi debit (2000 L/jam; 1800 L/jam; 1600 L/jam; 1400 L/jam; 1200 L/jam; 1000 L/jam) dapat dilihat pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.4.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada Daerah I pada Diameter Pipa 38 mm



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada Daerah I pada Diameter Pipa 50,8 mm

Gambar grafik 4.1 dan 4.2 merupakan grafik yang menunjukkan distribusi tekanan yang terjadi pada 180° long radius return bend dengan diameter 38 mm dan 50,8 mm pada posisi titik pengukuran 1 – 9 di daerah I, yaitu daerah diameter dalam dari pipa. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pola grafik di atas menunjukkan *trend* yang hampir sama meskipun debit aliran yang berbeda.

Pada posisi titik pengukuran 1 – 3 di kedua diameter pipa mengalami penurunan tekanan secara berangsur-angsur, di mana pada titik ke – 3 merupakan tekanan yang paling rendah. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan momentum yang terdapat di dalam fluida tersebut saat aliran akan mendekati sudut belokan dari pipa tersebut dan diiringi dengan peningkatan kecepatan dari fluida. Peningkatan kecepatan tersebut dipengaruhi oleh gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada pada lapisan batas (Nekrasov, 1959 : 116). Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida, karena kecepatan yang tidak seragam semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding dari saluran tersebut. Akibatnya muncul *vortex* yang menyebabkan adanya aliran sekunder. Pada aliran sekunder terjadi perubahan arah aliran yaitu berbalik dan menyebabkan pusaran pada penampang pipa yang berbelok sehingga konsekuensinya kecepatan aliran meningkat, seiring dengan itu pula tekanan menurun.

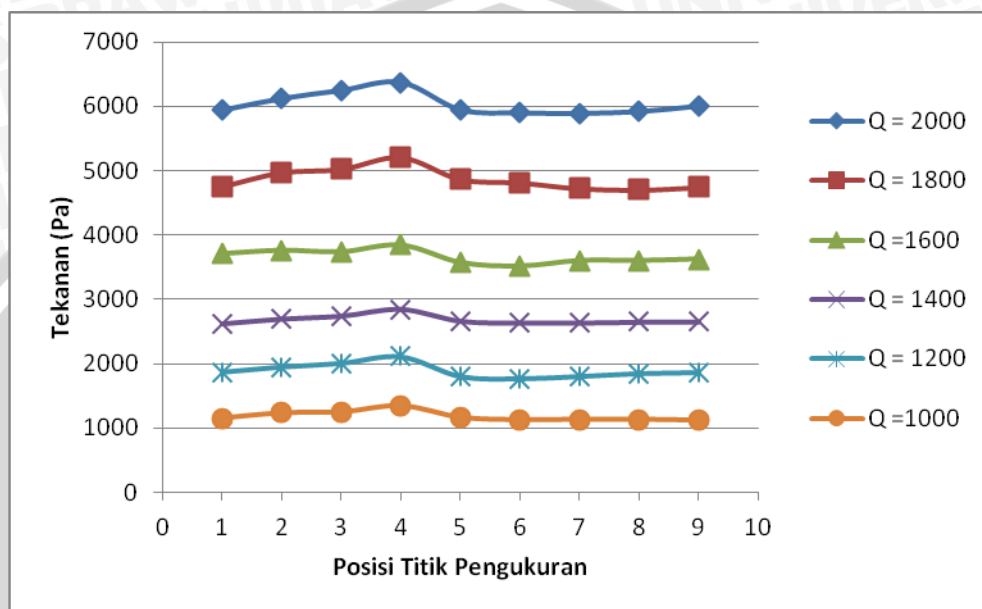
Pada posisi titik pengukuran ke 4 – 6 di kedua diameter pipa mengalami penurunan tekanan secara berangsur – angsur. Sebelum melewati titik ke – 4 terjadi kenaikan tekanan dan pada titik ke – 4 merupakan tekanan yang tertinggi. Hal ini disebabkan karena hampir seluruh *head* kecepatan diubah menjadi *head* tekanan sehingga terjadi peningkatan tekanan. Setelah itu aliran kembali mengalami penurunan tekanan secara berangsur – angsur kembali karena adanya perubahan momentum yang menyebabkan tidak semua dinding pipa tidak dilalui oleh fluida cair tersebut sehingga kecepatan dari fluida meningkat.

Pada posisi titik pengukuran ke 7 – 9, *trend* yang dialami oleh fluida mengalami kenaikan tekanan secara berangsur – angsur. Hal ini dikarenakan tekanan mulai berangsur – angsur normal dan *head* tekanan sedikit demi sedikit diubah menjadi *head* kecepatan.

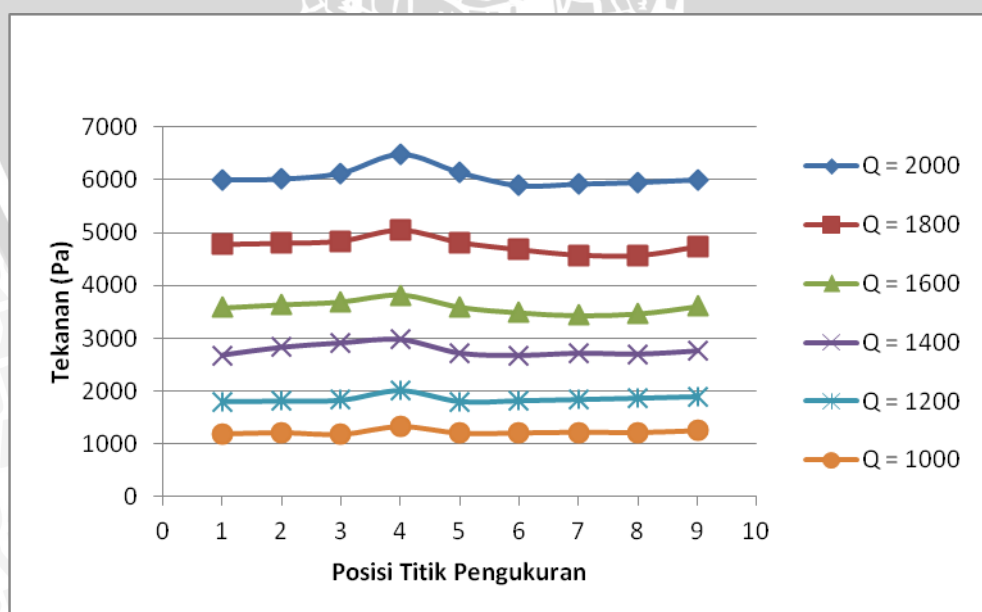
Pada grafik 4.1 dan 4.2 menunjukkan *trend* grafik distribusi tekanan yang hampir sama meskipun diameter penampang 180° long radius return bend divariasikan berbeda, akan tetapi perbedaan besar kecilnya tekanan yang terjadi cukup terlihat yaitu pada penampang dengan diameter 50,8 mm dimana secara keseluruhan memiliki nilai

tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan penampang diameter 30,8 mm. Hal ini disebabkan oleh semakin besar luas penampang dengan debit yang konstan maka kecepatan aliran menurun sehingga tekanan akan meningkat.

4.2.2 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan pada 180° Long Radius Return Bend dengan Variasi Diameter pada Daerah II.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan Daerah II pada Diameter Pipa 38 mm



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Posisi Titik Pengukuran dengan Distribusi Tekanan Daerah II pada Diameter Pipa 50,8 mm

Gambar grafik 4.3 dan 4.4 merupakan grafik yang menunjukkan distribusi tekanan yang terjadi pada 180° long radius return bend dengan diameter 38 mm dan 50,8 mm pada posisi titik pengukuran 1 – 9 di daerah II, yaitu daerah diameter luar dari pipa. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pola grafik di atas menunjukkan *trend* yang hampir sama meskipun debit aliran yang berbeda.

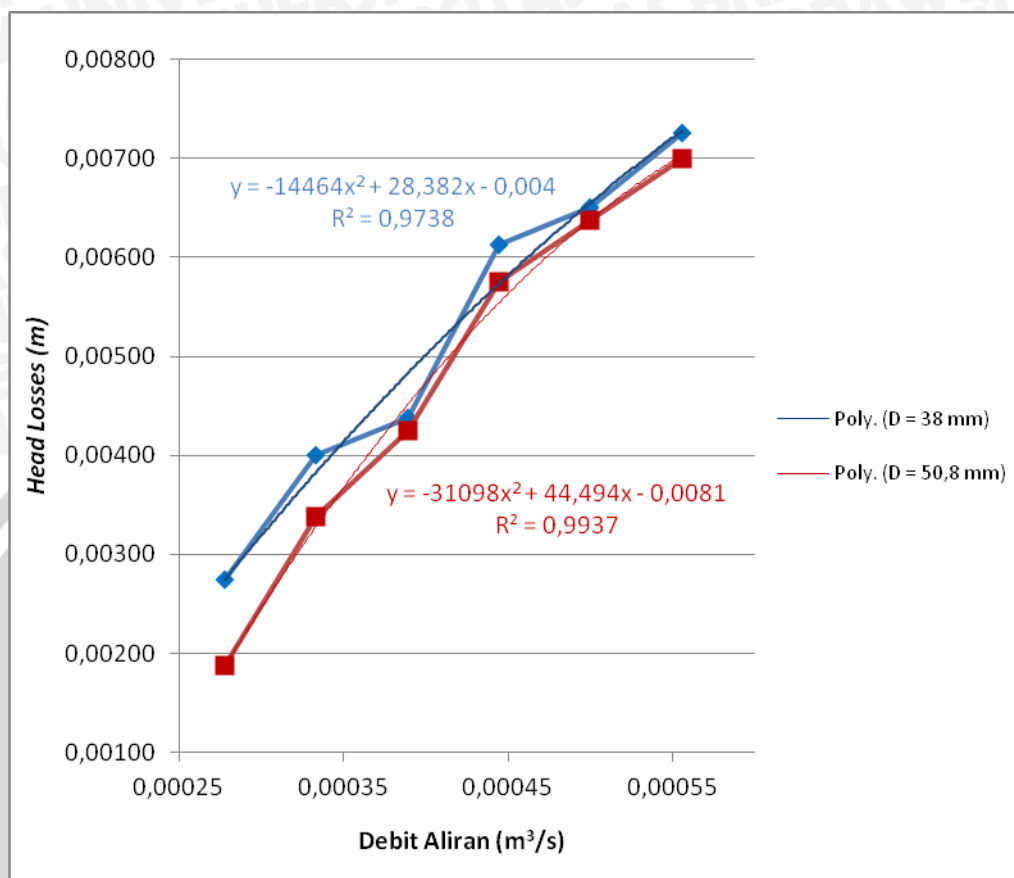
Pada posisi titik pengukuran ke 1 – 3 di kedua diameter pipa mengalami peningkatan tekanan secara berangsur – angsur dimana pada titik ke – 3 menunjukkan tekanan yang paling tinggi. Hal ini disebabkan adanya pengaruh yang cukup besar dari gaya sentrifugal dimana gaya ini menyebabkan fluida bergerak dari pusat ke dinding luar belokan pada sepanjang jari-jari kelengkungan, diiringi dengan turbulensi dari aliran fluida semakin meningkat, sehingga di sepanjang dinding pada titik ke 1 – 3 mengalami kenaikan secara berangsur – angsur.

Pada posisi titik pengukuran ke 4 – 6 di kedua diameter pipa mengalami penurunan tekanan secara berangsur – angsur. Titik ke – 4 mengalami tekanan yang paling tinggi karena sebelum melewati titik ke – 4 terjadi perubahan dimana hampir seluruh *head* kecepatan diubah menjadi *head* tekanan. Selain itu adanya pengaruh yang sangat besar dari gaya sentrifugal yang sangat mempengaruhi perubahan momentum antarpartikel di dalam fluida cair tersebut dan mengalami turbulensi yang sangat besar pula (Nekrasov, 1959 : 116). Setelah melewati titik ke – 4 tekanan mengalami penurunan, hal ini disebabkan penampang pipa tidak seluruh bagiannya dilalui oleh fluida cair tersebut.

Pada posisi titik pengukuran ke 7 – 9 di kedua diameter pipa tersebut mengalami peningkatan tekanan secara berangsur – angsur. Hal ini disebabkan kondisi aliran fluida yang mulai seragam dan tekanan mulai berangsur – angsur normal. Dan *head* tekanan yang terjadi pada titik – titik sebelumnya diubah menjadi *head* kecepatan.

Secara keseluruhan pada grafik 4.3 dan 4.4 menunjukkan *trend* grafik yang hampir sama pada distribusi tekanannya meskipun debit aliran fluida divariasikan. Tetapi untuk besar kecilnya tekanan pada diameter 50,8 mm memiliki nilai yang lebih besar daripada diameter 38 mm. Hal ini disebabkan oleh semakin besar luas penampang dengan debit yang konstan maka kecepatan aliran menurun sehingga tekanan akan meningkat.

4.2.3 Grafik hubungan Debit Aliran dengan *Head Losses* pada 180° Long Radius Return Bend Diameter 38 mm dan 50,8 mm



Gambar 4.5 Grafik hubungan Debit Aliran dengan *Head Losses* pada 180° Long Radius Return Bend Diameter 38 mm dan 50,8 mm

Gambar grafik 4.5 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan variasi debit aliran dengan *head losses* pada 180° long radius return bend dengan diameter 38 mm dan 50,8 mm. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai debit aliran berbanding lurus dengan nilai bilangan *head losses*. Sehingga semakin tinggi debit aliran fluida menyebabkan semakin tinggi pula *head losses*. Hal ini dapat dibuktikan pada debit aliran $2,778 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ nilai *head losses* (m) 180° long radius return bend diameter 38 mm sebesar 0,00275 m dan nilai kerugian *head* (m) bertambah besar seiring bertambahnya debit aliran fluida sampai pada debit aliran $5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ memiliki *head losses* sebesar 0,00725 m. Begitu juga dengan 180° long radius return bend diameter 50,8 mm memiliki kecenderungan yang sama, hal ini dapat dibuktikan mulai dengan debit aliran fluida $2,778 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ memiliki *head losses* sebesar 0,00187 m dan cenderung bertambah seiring dengan bertambah besar nilai debit aliran fluida sampai pada debit aliran $5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ memiliki *head losses* sebesar 0,007 m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi debit aliran fluida maka nilai kerugian *head* juga

semakin besar. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa semakin besar debit aliran maka aliran fluida menjadi semakin turbulen yang dapat dibuktikan dengan meningkatnya kecepatan fluida (v) diiringi meningkatnya bilangan *Reynolds* (Re) sehingga mengalami kerugian energi yang lebih banyak, hal ini yang menyebabkan kerugian *head* semakin besar. Adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada fluida ketika melewati belokan maupun aliran *twin-eddy* yang terbentuk setelah fluida melewati belokan.

Menurut hukum kontinuitas, untuk fluida *incompressible* berlaku $A_1.V_1 = A_2.V_2$ dapat diasumsikan *head velocity* fluida adalah konstan karena kecepatan rata-rata fluida dianggap konstan dan *head elevasi* fluida adalah sama pada bagian *inlet* dan *outlet*, sehingga persamaan *head losses* merupakan penurunan dari persamaan *head static*, yaitu $h_f = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa antara *head losses* dan perbedaan tekanan (ΔP) adalah sebanding dan memiliki kecenderungan yang sama dengan meningkatnya debit aliran fluida. Dengan demikian, beda tekanan maupun kerugian *head* yang diperoleh melalui pengukuran bagian *inlet* dan *outlet* belokan juga memiliki pengaruh terhadap *head total* dan *head static* fluida. Maka penurunan *head total* fluida akan menurunkan *head static* fluida. Hal ini sesuai dengan persamaan kekekalan energi:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \sum h$$

Secara keseluruhan dari grafik di atas pada diameter 180° long radius return bend 50,8 mm memiliki nilai *head losses* lebih rendah daripada pada diameter 38 mm. Semakin kecil diameter pipa pada debit aliran fluida (Q) yang sama akan didapatkan nilai *head losses* yang lebih tinggi daripada diameter yang lebih besar. Hal ini disebabkan pada diameter pipa yang lebih besar kecepatan rata-rata (v) aliran fluida menurun, akibatnya perbedaan tekanan (ΔP) dan *head losses* menjadi lebih rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang analisis distribusi tekanan dan *head losses* pada 180° long radius return bend dengan variasi diameter pipa, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Secara keseluruhan nilai tekanan pada kedua variasi diameter paling besar terjadi pada posisi titik pengukuran ke 1 – 9 di daerah II yaitu daerah kelengkungan luar pipa dan tekanan tertinggi terdapat pada posisi titik pengukuran ke - 4 pada daerah II. Untuk debit aliran yang sama pada 180° long radius return bend dengan diameter 50,8 mm secara keseluruhan memiliki nilai distribusi tekanan lebih besar dibanding diameter 38 mm karena semakin besar diameter 180° long radius return bend maka kecepatan aliran menurun sehingga tekanan meningkat.
2. Distribusi tekanan pada kedua diameter secara keseluruhan menunjukkan *trend* grafik yang hampir sama.
3. Secara keseluruhan pada diameter 180° long radius return bend 50,8 mm memiliki nilai *head losses* lebih rendah daripada pada diameter 38 mm. Semakin kecil diameter pipa pada debit aliran fluida (Q) yang sama akan didapatkan nilai *head losses* yang lebih tinggi daripada diameter yang lebih besar. Hal ini disebabkan pada diameter pipa yang lebih besar kecepatan rata-rata (v) aliran fluida menurun, akibatnya perbedaan tekanan (ΔP) pada masing – masing titik pengukuran menurun dan *head losses* menjadi lebih rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Maka dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang analisis distribusi tekanan pada penampang pipa yang lain , contohnya pada 180° short radius return bend.
2. Debit aliran yang digunakan lebih 2000 liter/jam agar dapat melihat pola / karakteristik aliran yang lebih jelas.
3. Penelitian yang dipaparkan dalam skripsi ini adalah menggunakan fluida *incompressible*, untuk penelitian selanjutnya perlu digunakan fluida *compressible*.

DAFTAR PUSTAKA

- Dianloga, Nanda; 2011: ***Analisis Distribusi Tekanan dan Kerugian Head pada Elbow dengan Variasi Diameter Pipa*** ; Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Franzini, Joseph B. & Finnemore, E. John. ; 1997: ***Fluid Mechanics with Engineering Applications***; Mc Graw Hill, New York.
- Munson, Bruce., Young, Donald F. & Okiishi, Theodore. H ; 2002: ***Fundamentals of Fluid Mechanics***; Wiley, United States of America.
- Nekrasov, Boris; 1959: ***Hydraulics For Aeronautical Engineers***; Peace Publishers, Moscow.
- Potter, Merle C. & Wiggert, David C. ; 1997: ***Mechanics of Fluids Second Edition***; Prentice Hall, United States of America
- Pramanta, Rendy; 2011: ***Analisis Distribusi Tekanan dan Kerugian Head pada Elbow dengan Variasi Radius Kelengkungan*** ; Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Streeter, Victor. L & Wylie, E. Benjamin; 1995: ***Mekanika Fluida Jilid 2***. Terjemahan Arko Prijono. Jakarta : Erlangga.
- White, Frank. M; 1988: ***Fluid Mechanics*** ; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Witanto, Yovan; 2004: ***Pengaruh Perforasi terhadap Perilaku Vortex di Belokan dan Penurunan Tekanan pada Instalasi Pipa*** ; Tesis tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



Lampiran ATabel Properties Air (*Water*) dalam satuan SI

Temp, °C	Unit gravity force γ , N/m ³	Density ρ , kg/m ³	Viscosity μ , Pa·s	Kinematic viscosity ν , m ² /s $10^6 \nu =$	Surface tension σ , N/m $100 \sigma =$	Vapor- pressure p_v , kPa	Bulk modulus of elasticity K, GPa
0	9805	999.9	1.792	1.792	7.62	0.6	2.04
5	9806	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.9	2.06
10	9803	999.7	1.308	1.308	7.48	1.2	2.11
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	1.7	2.14
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	2.5	2.20
25	9779	997.1	0.894	0.897	7.26	3.2	2.22
30	9767	995.7	0.801	0.804	7.18	4.3	2.23
35	9752	994.1	0.723	0.727	7.10	5.7	2.24
40	9737	992.2	0.656	0.661	7.01	7.5	2.27
45	9720	990.2	0.599	0.605	6.92	9.6	2.29
50	9697	988.1	0.549	0.556	6.82	12.4	2.30
55	9679	985.7	0.506	0.513	6.74	15.8	2.31
60	9658	983.2	0.469	0.477	6.68	19.9	2.28
65	9635	980.6	0.436	0.444	6.58	25.1	2.26
70	9600	977.8	0.406	0.415	6.50	31.4	2.25
75	9589	974.9	0.380	0.390	6.40	38.8	2.23
80	9557	971.8	0.357	0.367	6.30	47.7	2.21
85	9529	968.6	0.336	0.347	6.20	58.1	2.17
90	9499	965.3	0.317	0.328	6.12	70.4	2.16
95	9469	961.9	0.299	0.311	6.02	84.5	2.11
100	9438	958.4	0.284	0.296	5.94	101.3	2.07

Lampiran B

Instalasi Penelitian



