

**PENGARUH PANJANG VANE YANG DIGABUNGKAN DENGAN  
PLAT PERFORASI TERHADAP KERUGIAN HEAD ALIRAN FLUIDA  
PADA ELBOW**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Konversi Energi**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun Oleh:  
SUBKHAN ARIF  
NIM. 0410623067-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH PANJANG VANE YANG DIGABUNGKAN DENGAN  
PLAT PERFORASI TERHADAP KERUGIAN *HEAD* ALIRAN FLUIDA  
PADA *ELBOW***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**SUBKHAN ARIF  
NIM. 0410623067-62**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
NIP. 197209031997021001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PANJANG VANE YANG DIGABUNGKAN DENGAN  
PLAT PERFORASI TERHADAP KERUGIAN *HEAD* ALIRAN FLUIDA  
PADA *ELBOW***

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Konversi Energi**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**SUBKHAN ARIF**  
**NIM. 0410623067-62**

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

**Skripsi I**

**Skripsi II**

**Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng**  
**NIP. 19740121 199903 1 001**

**Ir. Erwin Sulistyoo., MT.**  
**NIP. 19661213 199802 1 001**

**Komprehensif**

**Sugiarto, ST., MT.**  
**NIP. 19690417 199512 1 001**

Mengetahui  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

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

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum wr.wb.* Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan limpahan dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Panjang Vane Yang Digabungkan Dengan Plat Perforasi Terhadap Kerugian Head Aliran Fluida Pada Elbow”**.

Skripsi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu persyaratan guna melengkapi persyaratan akademis untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, pengetahuan dan banyak meluangkan waktunya untuk membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., MT. Eng selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Eng. LILIS YULIATI, ST.,MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi.
4. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Kedua orang tuaku yang telah mendukung dengan doa dan harapan yang besar.
7. Rekan - rekan mahasiswa mesin dan semua pihak yang telah membantu penulis selama ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa ilmu yang dimiliki masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

*Wassalamualaikum wr.wb.*

Malang, Agustus 2012

penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
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
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Fluida .....	5
2.2.1 Definisi Fluida .....	5
2.2.2 Viskositas .....	5
2.2.3 lapisan Batas/ <i>Boundary Layer</i> .....	6
2.3 Klasifikasi Fluida .....	7
2.3.1 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian .....	7
2.3.2 Fluida Mampu Mampat dan Fluida Takmampu Mampat .....	8
2.4 Bilangan <i>Reynold</i> .....	8
2.4.1 Aliran Laminer dan Turbulen .....	9
2.4.2 Aliran <i>Fully Developed</i> (Berlansung Mantap) .....	10
2.5 Analisi Aliran Dalam Pipa .....	11
2.5.1 Hukum Kontinuitas .....	11
2.5.2 Persamaan <i>Bernoulli</i> Untuk Fluida Ideal .....	12
2.5.3 Persamaan <i>Bernoulli</i> Untuk Fluida Real .....	14
2.6 <i>Vortex</i> .....	15
2.7 <i>Head losses</i> .....	16



2.7.1 Minor Losses Pada Belokan .....	17
2.8 Flow Conditioner .....	20
2.8.1 Vane .....	20
2.9 Plat Perforasi .....	25
2.9.1 Definisi Plat Perforasi .....	25
2.9.2 Jenis Plat Perforasi .....	26
2.10 Hipotesis .....	28

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian .....	29
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	29
3.4 Peralatan Penelitian.....	30
3.5 Instalasi Penelitian .....	33
3.6 Variabel Penelitian .....	34
3.7 Metode Pengambilan Data.....	35
3.8 Diagram Alir Penelian .....	36

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Penelitian.....	37
4.2 Pengolahan Data .....	37
4.3 Data Hasil Pengolahan.....	39
4.4 Hasil Penelitian .....	41
4.4.1 Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> (Re) terhadap Kerugian <i>Head</i> ( $\Delta H$ ) pada Hulu dan Hilir Belokan Pipa .....	41
4.4.2 Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> (Re) terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i> ( $\zeta$ ) pada Belokan Pipa.....	44

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran .....	47

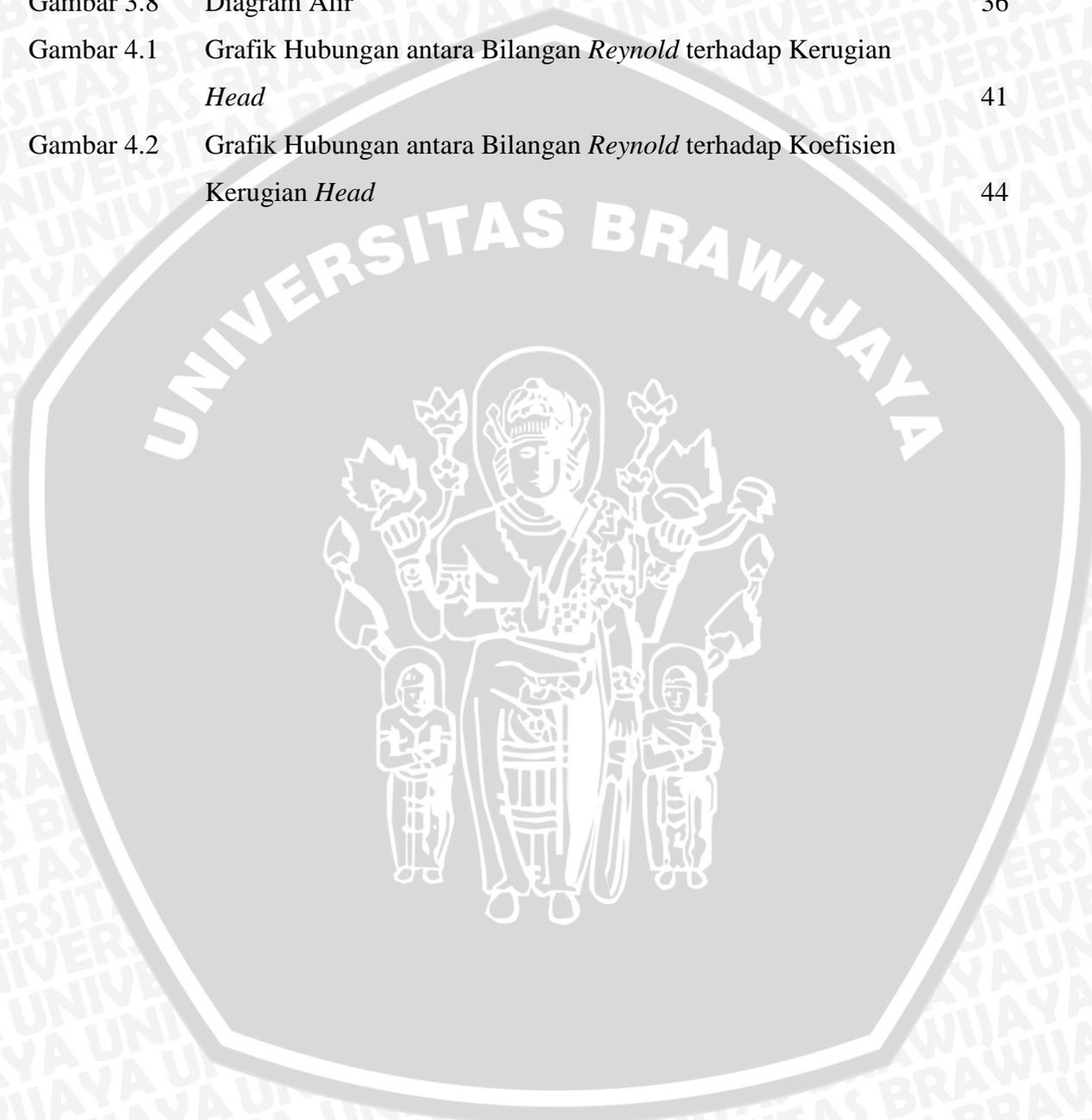
### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

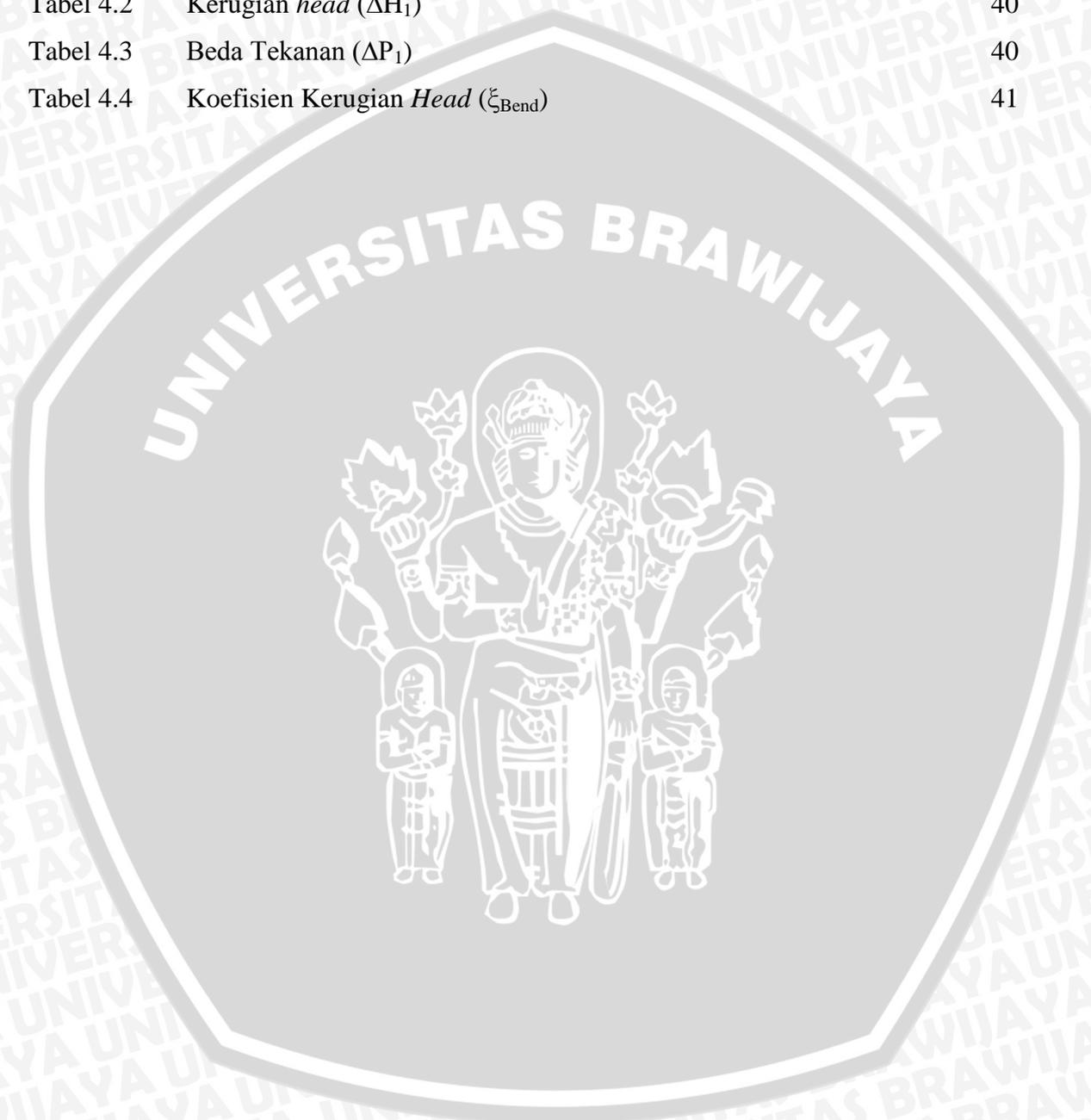
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Viskositas Kinematik Berbagai Fluida pada 1 atm	5
Gambar 2.2	Struktur <i>Boundary layer</i>	7
Gambar 2.3	Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian	8
Gambar 2.4	Aliran Laminer	9
Gambar 2.5	Aliran Turbulen	10
Gambar 2.6	Perkembangan Aliran Laminer pada Pipa	10
Gambar 2.7	Aliran <i>Steady</i> Dalam Pipa	11
Gambar 2.8	Aliran yang Berkembang Penuh Antara 2 Penampang dalam Pipa Miring	13
Gambar 2.9	Geometri <i>Vortex</i> Menurut Besar Bilangan <i>Reynold</i>	15
Gambar 2.10	<i>Vortex</i> 2 Dimensi	16
Gambar 2.11	Bentuk-bentuk Lokal Saluran	17
Gambar 2.12	Belokan Siku	17
Gambar 2.13	Profil Aliran Melewati Belokan	18
Gambar 2.14	Belokan <i>Circular</i> 90°	18
Gambar 2.15	Grafik Hubungan ( $R/d$ ) Terhadap Nilai $a$	19
Gambar 2.16	Grafik Hubungan ( $\delta$ ) Terhadap Nilai $b$	19
Gambar 2.17	Grafik Hubungan ( $e/d$ ) Terhadap Nilai $c$	19
Gambar 2.18	<i>Vane</i>	21
Gambar 2.19	Tabel Perbandingan <i>Flow Conditioner</i>	21
Gambar 2.20	<i>Etoil Flow Straightener</i>	22
Gambar 2.21	Profil Aliran Melalui Penampang Segitiga	23
Gambar 2.22	Putaran Vessel Terbuka Terhadap Sumbu Vertikal	23
Gambar 2.23	Plat Perforasi	25
Gambar 2.24	Aliran Fluida yang Melalui Plat Perforasi	25
Gambar 2.25	<i>MHI Conditioner</i>	26
Gambar 2.26	<i>The Sparmen (NEL) Conditioner</i>	26
Gambar 2.27	<i>The Law Conditioner</i>	27
Gambar 3.1	<i>Etoile Flow Straightener</i>	30
Gambar 3.2	Geometri Plat perforasi	31
Gambar 3.3	Rotameter	32

Gambar 3.4	Manometer	32
Gambar 3.5	Stopwatch	33
Gambar 3.6	Instalasi Uji	33
Gambar 3.7	Skema Instalasi pada Belokan Uji	34
Gambar 3.8	Diagram Alir	36
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> terhadap Kerugian <i>Head</i>	41
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Bilangan <i>Reynold</i> terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i>	44



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Kecepatan Aliran Fluida ( $v$ ) pada Instalasi Pipa	39
Tabel 4.2	Kerugian <i>head</i> ( $\Delta H_1$ )	40
Tabel 4.3	Beda Tekanan ( $\Delta P_1$ )	40
Tabel 4.4	Koefisien Kerugian <i>Head</i> ( $\xi_{\text{Bend}}$ )	41



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel Properti Air ( <i>Water</i> ) dalam Satuan SI



## RINGKASAN

**Subkhan Arif**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2012. *Pengaruh Panjang Vane Yang Digabungkan Dengan Plat Perforasi Terhadap Kerugian Head Aliran Fluida Pada Elbow*, Dosen Pembimbing : **Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT**

Pada belokan pipa kerugian head yang ditandai dengan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama, hal ini disebabkan aliran fluida mengalami perubahan kecepatan baik arah maupun besarnya dimana kecepatan fluida semakin besar mendekati pusat dan semakin kecil mendekati dinding, dampaknya terdapat separasi yaitu daerah bertekanan tinggi dan rendah. Separasi ini menyebabkan fluida berotasi sehingga menimbulkan *vortex* dan karena pengaruh gaya sentrifugal pada belokan pipa menyebabkan *vortex* bertransformasi menjadi aliran sekunder (*twin eddy*). *Vortex* yang terjadi pada belokan akan semakin besar seiring membesarnya bilangan *Reynold* sehingga semakin besar pula kerugian *head* (*head losses*). Kerugian *head* pada belokan pipa dapat diminimalisir dengan berbagai cara salah satunya dengan pemasangan alat pengkondisian aliran (*flow conditioner*) berupa *vane* tipe *etoile flow straightener* yang digabungkan dengan plat perforasi tipe *laws* yang diletakkan tepat pada hilir belokan dengan variasi panjang *vane* searah longitudinal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh panjang *vane* yang digabungkan dengan plat perforasi terhadap kerugian *head* aliran fluida pada *elbow*.

Pada penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen. Dalam penelitian ini digunakan instalasi *hydraulic bench* dengan mengatur debit air pada instalasi pipa dan manometer untuk mengukur perbedaan tekanan yang terjadi. Tebal plat perforasi yang digunakan adalah 5 mm dengan jumlah lubang 26 buah dan variasi panjang *vane* yang digunakan adalah 63.5 mm (2D), 95.25 mm (3D), 127 mm (4D).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan *flow conditioner* berupa kombinasi *vane*-plat perforasi mempengaruhi nilai kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa dimana semakin panjang *vane* akan meningkatkan kemampuan *vane* untuk meluruskan aliran. Akibat adanya pengaruh viskositas dan tegangan geser fluida menyebabkan adanya aliran induksi yang mengakibatkan *twin eddy* yang terbentuk mendekati profil lingkaran dengan nilai *c* minimum sehingga kerugian *head* aliran fluida yang melewati belokan pipa akan berkurang. Kerugian *head* terendah yaitu 0.003 mmH<sub>2</sub>O didapat pada *vane* dengan panjang 127 mm yang digabung dengan plat perforasi pada bilangan *Reynold* 10688,472.

**Kata kunci** : panjang *vane*, plat perforasi, *head losses*, aliran fluida pada *elbow*.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang.

Mekanika fluida merupakan salah satu bidang dalam teknik mesin yang mempelajari tentang sifat-sifat aliran fluida, baik itu fluida *incompressible* maupun *compressible*. Aliran fluida di dalam pipa merupakan salah satu pokok bahasan yang banyak mendapat perhatian dalam bidang mekanika fluida. Banyak peneliti yang telah menyampaikan kajiannya, tertuang dalam berbagai rujukan pustaka, berupa kajian teoritis dan *empiris*.

Pipa pada sistem instalasi fluida mempunyai peranan yang sangat penting, mulai dari rumah tangga sampai pada sektor-sektor industri, seperti penyulingan minyak bumi, proses kimiawi, dan pengolahan limbah. Fungsi utama pipa tersebut adalah mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lain, baik dalam bentuk cair, gas, maupun dalam bentuk massa yang terfluidisasi. 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 disebut *major losses*, sedangkan kerugian yang diakibatkan perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti perubahan luas panampang, katup, belokan, *orifice* dll. disebut *minor losses*.

Pada belokan pipa kerugian *head* yang ditandai dengan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama (Potter and Wiggert, 1997). Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang menyebabkan timbulnya aliran sekunder yang dapat memicu terbentuknya *vortex* yang dapat memperbesar  $\Delta p$  (penurunan tekanan). Maka semakin besar koefisien kerugian *head*, semakin besar *losses* yang terjadi pada belokan sehingga semakin besar pula *pressure drop* ( $\Delta p$ ). Sehingga semakin besar  $\Delta p$  atau meningkatnya *pressure drop* yang diakibatkan oleh *vortex* tersebut dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut meningkat, sehingga daya pemompaan juga meningkat. Selain itu *vortex* juga dapat menyebabkan terjadinya getaran pada instalasi pipa.

Salah satu cara untuk mengurangi aliran sekunder atau *vortex* akibat adanya katup, belokan atau akibat sambungan pipa adalah dengan pemasangan

suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) berupa *vane* dan plat perforasi. *Vane* dan plat perforasi adalah jenis alat pengkondisi aliran (*flow conditioner*) yang berfungsi untuk mengkondisikan aliran fluida sehingga akan dihasilkan dimensi *twin-eddy* (pusaran kembar) yang berbentuk lingkaran sehingga dapat mengurangi daerah separasi dan *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup (*valve*), belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa.

Oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut salah satu cara untuk mengurangi kerugian *head* akibat terjadinya separasi dan *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran berupa *vane* yang digabung dengan plat perforasi pada belokan pipa.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disimpulkan suatu permasalahan yaitu:

- Bagaimana pengaruh panjang *vane* yang digabungkan dengan plat perforasi terhadap penurunan tekanan dan koefisien kerugian *head* aliran pada *elbow*

### 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air (*incompressible*).
2. *Elbow* (belokan) yang digunakan adalah PVC dengan diameter 1,25 inc dengan sudut belok 90°.
3. Jumlah lubang pada plat perforasi 26 buah terbuat dari *acrylic* dengan tebal 5 mm.
4. *Vane* yang digunakan dari bahan *acrylic* dengan sudut 45° dan tebal 2 mm dengan panjang 2D, 3D, dan 4D.
5. Plat perforasi yang diteliti adalah tipe *Laws flow conditioner*.
6. Jarak antar *vane* dan plat perforasi adalah 50 mm.

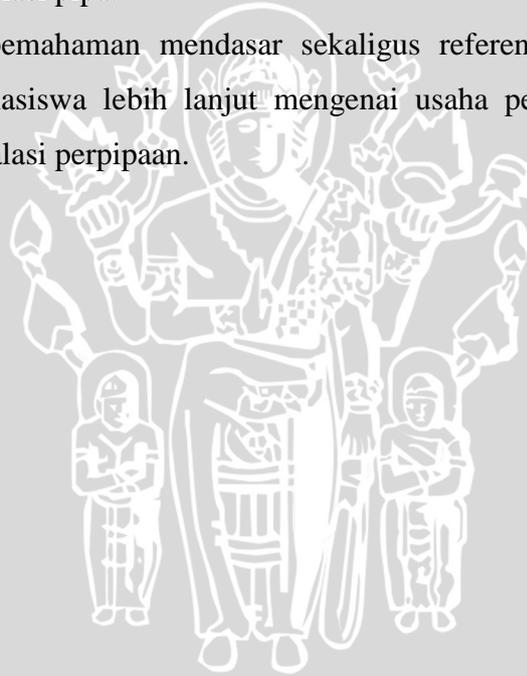
#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh panjang *vane* yang digabungkan dengan plat perforasi terhadap penurunan tekanan dan koefisien kerugian *head* aliran fluida pada belokan pipa.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi industri untuk mengurangi kerugian *head* (berupa *pressure drop*) pada instalasi perpipaan yang dimilikinya.
2. Sebagai dasar dalam mendesain dan pemilihan alat pengkondisian aliran berupa kombinasi *vane* dengan plat perforasi untuk mengurangi kerugian *head* pada instalasi pipa.
3. Memberikan pemahaman mendasar sekaligus referensi tambahan bagi penelitian mahasiswa lebih lanjut mengenai usaha penurunan kerugian *head* pada instalasi perpipaan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Don Lundberg dalam jurnalnya yang berjudul “*Effect of flow conditioning on liquid measurement*” menjabarkan berbagai jenis *flow conditioner* disertai aplikasi serta kelebihan dan kekurangan tiap jenisnya. Salah satu pembahasan dalam jurnal beliau menyebutkan bahwa ternyata *vane* sangat sesuai untuk mengurangi *swirl* dan *secondary flow*. Selain itu, beliau juga menyebutkan bahwa *pressure drop* yang dihasilkan *tube bundle* pada umumnya lebih kecil jika dibandingkan dengan *perforation plat*.

Witanto (2004), meneliti tentang “Pengaruh *perforasi* terhadap perilaku *vortex* di belokan dan penurunan tekanan pada instalasi pipa”. Penelitian ini dilakukan pada belokan pipa dimana pada dinding pipa sebelum belokan pipa dibuat *perforasi* (lubang-lubang) dengan variasi lubang *perforasi*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengurangi kecepatan aksial sebelum belokan dengan cara membangkitkan aliran radial lewat *perforasi* sehingga aliran sekunder mengecil dan diameter *vortex* yang terbentuk semakin kecil. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa diameter *perforasi* yang terlalu besar, dapat meningkatkan koefisien gesek, sehingga tegangan geser menjadi meningkat. Akibatnya penurunan tekanan ( $\Delta p$ ) menjadi makin meningkat.

Ipung (2009) meneliti tentang “pengaruh variasi peletakan jarak *tube bundle* terhadap kerugian *head* fluida pada belokan pipa” penelitian ini dilakukan setelah belokan pipa dipasang *tube bundle* dengan variasi jarak 2D, 3D, 4D, 5D. hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dekat jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran pada belokan pipa akan menyebabkan semakin sedikit waktu terbentuknya separasi dan mempercepat peluang terbentuknya *twin eddy* berprofil lingkaran, sehingga daerah separasi yang terbentuk semakin berkurang dan beda tekanan yang terjadi semakin kecil atau kerugian *head* pada belokan pipa semakin kecil.

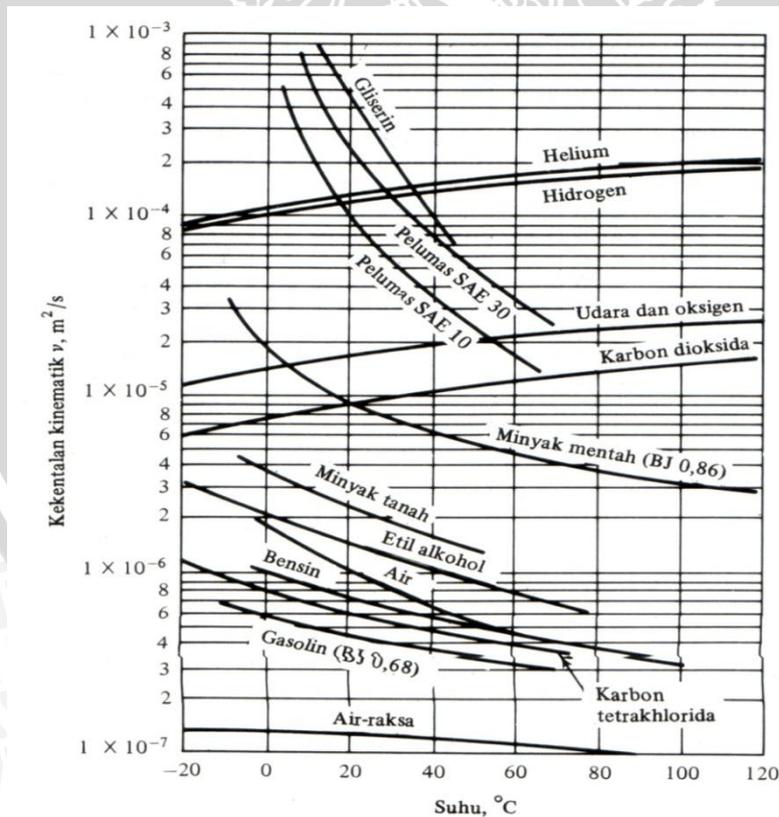
## 2.2 Fluida

### 2.2.1 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, 1996: 3)

### 2.2.2 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. Hukum Viskositas *Newton* menyatakan bahwa, untuk laju perubahan bentuk suatu fluida tertentu, merupakan fungsi dari tegangan geser dan viskositas. Contoh cairan yang sangat kental adalah larutan gula sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil/ tidak kental.



Gambar 2.1 : Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm

Sumber : White, Frank M .1994 : 388

Gambar 2.1 merupakan grafik pengaruh temperatur terhadap kekentalan suatu fluida. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositasnya akan menurun dengan meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas semakin meningkat temperatur maka viskositasnya akan meningkat.

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Mott, 1994 : 25}) \quad (2.1)$$

Dimana :

$\nu$  = viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

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

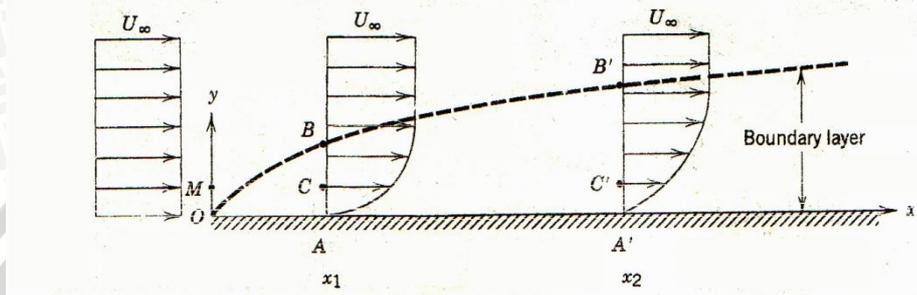
$\rho$  = densitas/ massa jenis ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

Viskositas kinematik adalah viskositas yang banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan gaya yang bekerja dan banyak muncul dalam penerapan, misalnya untuk menentukan bilangan *Reynold* pada *internal flow*, misalnya aliran fluida didalam pipa, sedangkan viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser/ gaya yang bekerja padanya.

### 2.2.3 Lapisan Batas/ *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 aktual/ *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 2.2 menjelaskan tentang stuktur *boundary layer*.



Gambar 2.2 : Struktur *Boundary layer*

Sumber : White, Frank M, Fluid Mechanics.1994 : 142

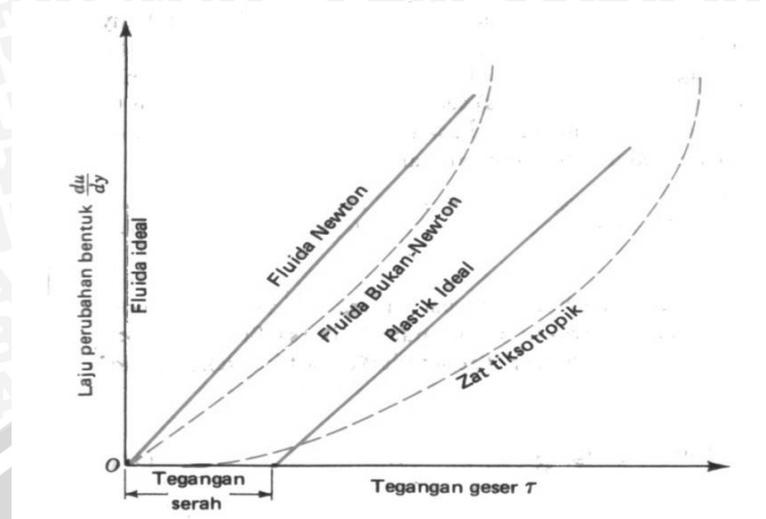
Pada gambar diatas terlihat ketika fluida berada pada O, fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Saat fluida melewati A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding, sehingga terjadi gradien kecepatan. Sedangkan ketika fluida pada 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.

## 2.3 Klasifikasi Fluida

### 2.3.1 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian

Berdasarkan kemampuan fluida dalam menahan tegangan geser, fluida dibedakan menjadi fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian (Streeter, 1986 :3). Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dengan gradien kecepatan pada fluida. Sedangkan fluida non-Newtonian memiliki hubungan yang tak linier antara besarnya tegangan geser dengan gradien kecepatan seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3.

Contoh fluida Newtonian adalah air, udara, dan oli, sedangkan fluida non-Newtonian adalah fluida berbentuk pasta seperti; plastik cair dan lilin cair.



Gambar 2.3 : Fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian

Sumber : Streeter, Victor. L and Wylie, Mekanika FLuida.1996 : 5

### 2.3.2 Fluida mampu mampat dan Fluida takmampu mampat

Menurut Daugherty, Robert L. (1986 : 4) fluida dibagi menjadi 2 yaitu fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida takmampu mampat (*incompressible*). Fluida takmampu mampat (*incompressible*) adalah fluida yang mempunyai massa jenis ( $\rho$ ) konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan tekanan  $\frac{d\rho}{dp} = 0$ . Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya ( $\rho$ ) berubah-ubah terhadap tekanan  $\frac{d\rho}{dp} > 0$ . Contoh fluida takmampu mampat adalah fluida cair dan fluida gas yang memiliki Bilangan Mach atau *Mach Number* ( $M$ )  $< 0,2$ , sedangkan untuk fluida gas yang memiliki *Mach Number* ( $M$ )  $> 0,2$  dianggap fluida mampu mampat dan sifat-sifat kompresibilitasnya harus diperhitungkan.

### 2.4 Bilangan Reynold

Aliran fluida baik itu *internal flow* ataupun *eksternal flow*, mengalami perubahan pola aliran dari laminar kemudian transisi hingga pada akhirnya menjadi turbulen. Pada *incompressible flow* kondisi aliran laminar atau turbulen ditentukan oleh besarnya bilangan *Reynold*, yaitu suatu parameter yang menyatakan suatu perbandingan kecepatan aliran, dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas fluida.

Persamaan bilangan *Reynold* untuk aliran didalam pipa adalah :

$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{V.D}{\nu} \quad (\text{Potter \& Wiggert, 1997:260}) \quad (2.2)$$

Dimana :

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

$D$  = diameter pipa ( meter )

$\nu$  = viskositas kinematik (  $m^2/s$  )

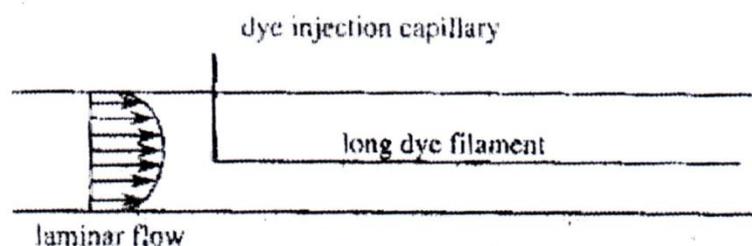
$\mu$  = viskositas absolut/dinamik (  $N.s/ m^2$  )

$\rho$  = densitas (  $Kg/m^3$  )

#### 2.4.1 Aliran Laminer dan Turbulen

Berdasarkan karakteristik struktur internal aliran, aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminer dan turbulen. Aliran laminer adalah aliran fluida yang memiliki *stream line* teratur dan tidak saling berpotongan antara satu dengan yang lain, yang bergerak mengikuti arah kontur dari saluran. Pada aliran laminer lapisan-lapisan atau lamina-lamina fluida bergerak secara lancar dan teratur, dengan tidak ada pencampuran partikel fluida dalam skala besar antara lapisan-lapisan fluida.

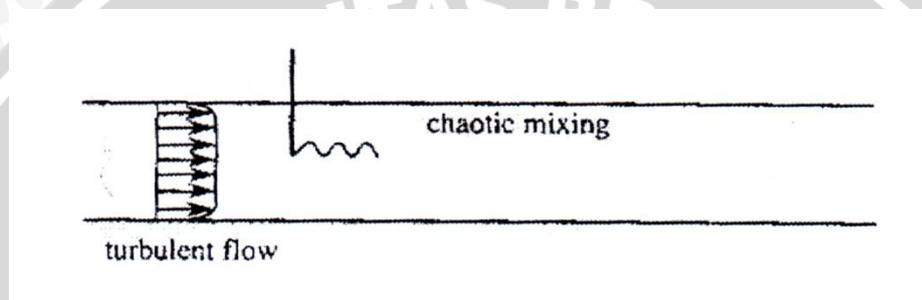
Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynold* lebih kecil dari 2300. Pada aliran laminer kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan fluida yang berdekatan. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan Osborne Reynold. Pada laju aliran rendah, aliran laminer tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Aliran Laminer

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

Aliran Turbulen adalah aliran fluida dimana *stream line* bergerak secara acak ke segala arah dan saling berpotongan antara satu dan yang lain. Hal ini dikarenakan pada aliran turbulen memiliki partikel-partikel fluida yang bergerak secara acak dengan saling tukar momentum dan partikel antar lapisan fluida yang berdekatan dalam skala besar. Karena pada aliran turbulen terjadi pertukaran partikel dalam skala besar, maka fluida bergerak ke segala arah, dan terjadi pembauran aliran fluida. Oleh Osborne Reynold digambarkan sebagai bentuk fluida yang bercampur dalam waktu cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tidak terlihat sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.5.

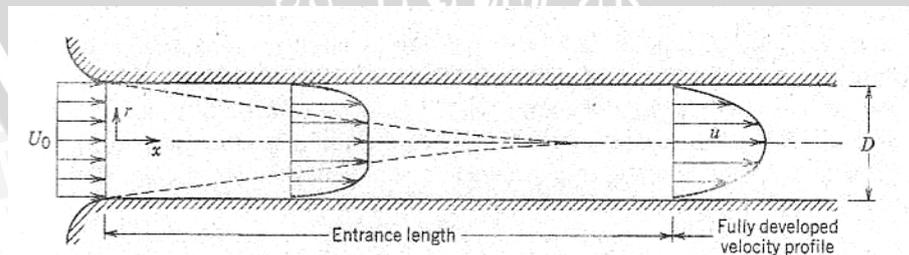


Gambar 2.5 : Aliran Turbulen

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

Dalam aliran laminar *losses* pada aliran sebanding dengan kecepatan fluida, tetapi untuk aliran turbulen *losses* sebanding dengan kecepatan fluida pangkat 1,7 - 2,0. Hal ini membuktikan bahwa pada aliran turbulen cenderung menghasilkan *losses* yang lebih besar.

#### 2.4.2 Aliran Fully Developed ( Berlangsung Mantap )



Gambar 2.6 : Perkembangan aliran laminar pada pipa

Sumber : Fox, Robert. W, and McDonald, Alan . T.1994 : 26

Pada gambar 2.6 ketika aliran akan masuk ke dalam pipa, aliran memiliki kecepatan yang seragam. Lalu ketika aliran masuk ke dalam pipa, kecepatan aliran

pada dinding pipa adalah nol, dan terbentuk lapisan batas karena pengaruh gaya dinding pipa sehingga terjadi pengurangan kecepatan. Semakin jauh jarak tempuh fluida semakin besar gradien kecepatan yang terjadi.

Setelah mencapai jarak yang mencukupi, lapisan batas akan mengembang dan mencapai garis pusat pipa. Aliran akan seluruhnya kental (viskos) dan bentuk dari profil kecepatan akan berubah. 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 berlangsung mantap (*fully developed*) tergantung dari apakah aliran tersebut laminer 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 :

$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho V D}{\mu} \quad (\text{Fox, 1994: 305}) \quad (2.3)$$

Dimana,

$L$  = *entrance length* ( m )

$D$  = diameter pipa ( m )

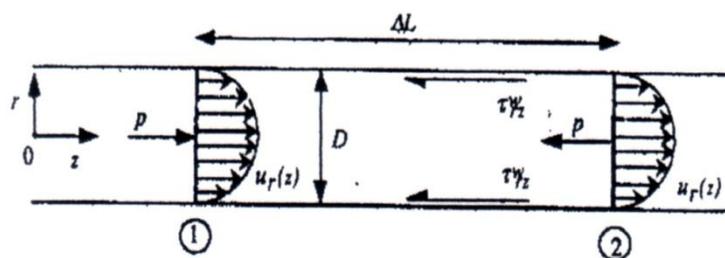
$\rho$  = densitas (  $\text{Kg/m}^3$  )

$V$  = kecepatan rata-rata ( m/s )

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

## 2.5 Analisis Aliran Dalam Pipa

### 2.5.1 Hukum Kontinuitas



Gambar 2.7 : Aliran steady dalam pipa

Sumber : Papunastasiou, Tasos C.1993 : 140

Berdasarkan gambar 2.7 diatas, aliran fluida pada bagian 1 dan 2 mengalir dengan laju aliran yang konstan, sehingga kuantitas massa aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap. Jika tidak ada fluida yang ditambahkan, dipindahkan atau diletakkan di antara bagian 1 dan 2, maka massa fluida yang mengalir antara bagian 1 dan 2 tiap satuan waktu adalah tetap, dan dapat dirumuskan dengan :

$$m = \text{konstan} \quad (\text{White, Frank M, 1994: 305}) \quad (2.4)$$

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Persamaan diatas adalah persamaan kontinuitas apabila aliran fluida yang mengalir adalah compressible. Jika fluida yang mengalir didalam pipa adalah incompressible maka  $\rho_1 = \rho_2$ . Sehingga persamaan kontinuitas dapat dirumuskan dengan :

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{White, Frank M, 1994: 305}) \quad (2.5)$$

Dengan :  $Q$  = debit aliran fluida ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = luas penampang pipa ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan aliran fluida dalam pipa ( $\text{m/s}$ )

### 2.5.2 Persamaan Bernoulli Untuk Fluida Ideal

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 ( $\rho$ ) konstan. Karena fluida yang bekerja adalah fluida ideal tak memiliki viskositas maka tidak ada kehilangan energi selama fluida mengalir.

$$W = m \cdot g \cdot Z + m \cdot \frac{P}{\rho} + m \cdot \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter, 1991: 4}) \quad (2.6)$$

Bila pada aliran tersebut diambil suatu jumlah fluida untuk tiap 1 Kg, maka persamaannya dinamakan persamaan energi persatuan massa fluida. Oleh karena dibagi massa ( $m$ ) maka didapatkan persamaan energi spesifik yaitu :

$$w = g.Z + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter, 1991: 4}) \quad (2.7)$$

Apabila persamaan tersebut dibagi lagi dengan percepatan gravitasi  $g$ , maka akan didapat salah satu ruas dari persamaan *Bernoulli* yang mempunyai arti *Head*. *Head* adalah energi fluida tiap satuan berat fluida.

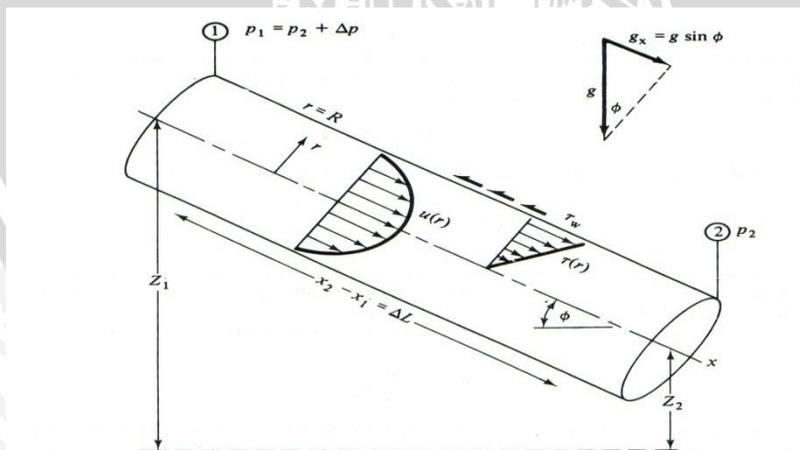
Persamaan *Head*-nya yaitu:

$$H = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter, 1991: 4}) \quad (2.8)$$

Jadi sesuai dengan persamaan *Head* diatas dan pada gambar 2.8 dapat dijelaskan bahwa pada tiap saat dan tiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran fluida di dalam pipa tanpa gesekan maka akan mempunyai *head*, tekanan dan kecepatan. Sebagai contoh aliran air didalam pipa, pada posisi 1 Kg air mempunyai tekanan tertentu dan luas penampang yang tertentu pula serta kecepatan  $V_1$ .

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (\text{Streeter, 1991: 4}) \quad (2.9)$$

Perubahan bentuk energi akan terjadi bila pada posisi 2 penampang diperkecil, dengan demikian kecepatan fluida naik menjadi  $V_2$  dan tekanan pada posisi 2 akan berkurang, hal ini akan terlihat dengan jelas letak pipa tersebut dibuat mendatar  $Z_1 = Z_2$ .



Gambar 2.8 : Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring

Sumber : White, Frank. M.1954: 305

### 2.5.3 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 kehilangan 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 kehilangan 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 kehilangan energi pada fluida.

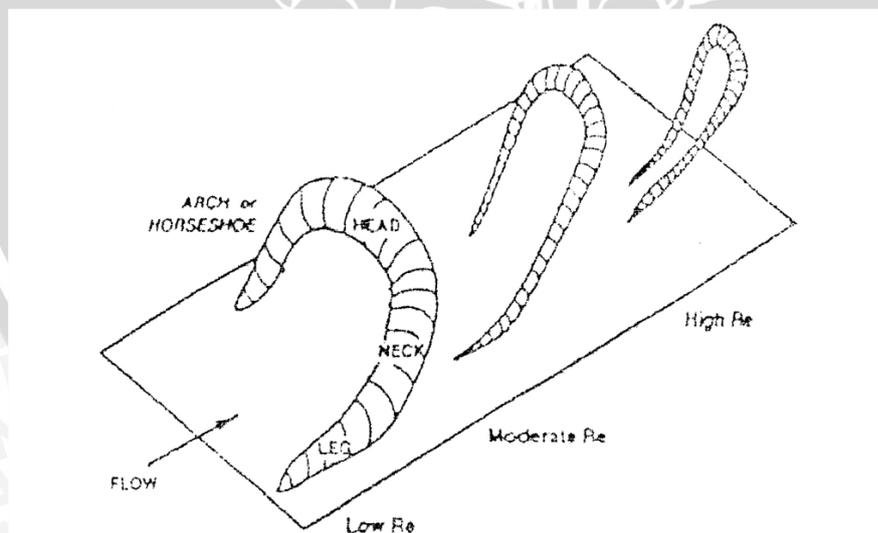
$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{\rho \cdot g} + \sum h \quad (\text{Nekrasov. 1990: 59}) \quad (2.10)$$

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 kehilangan energi dan juga  $\alpha$  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. (Nekrasov, 1990: 60)

## 2.6 Vortex

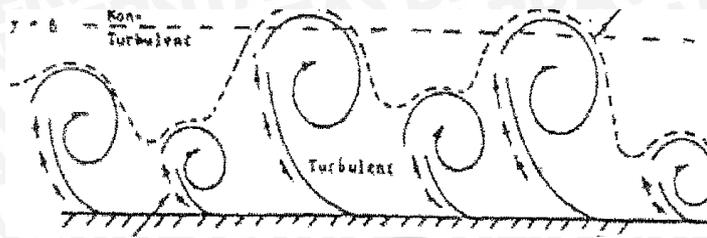
*Vortex* didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu, gradien kecepatan ini akan menyebabkan puntiran (torsion). Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortices* pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder.

Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut harga bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* yang rendah, *vortex* berbentuk seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan *Reynold* maka *vortex* akan semakin meruncing.



Gambar 2.9 : Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*

Sumber : Steven K. Robinson, 1991 : 607



Gambar 2.10 : Vortex 2 dimensi

Sumber : Steven K. Robinson, 1991 : 619

## 2.7 Head Losses

*Head losses* adalah energi yang hilang pada fluida ketika fluida mengalir. Besarnya *head losses* tergantung pada bentuk, ukuran dan kekasaran saluran, kecepatan dan viskositas fluida dan tidak tergantung pada tekanan absolut.

*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* menurut Darcy.

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 60}) \quad (2.11)$$

Dimana,

$h$  = *major losses* (m)

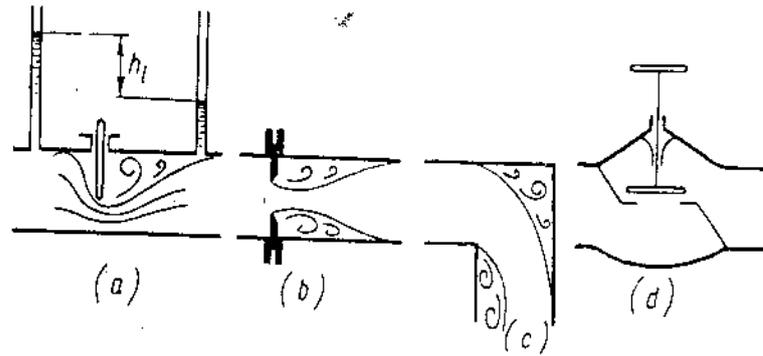
$\lambda$  = faktor gesek

$l$  = panjang pipa (m)

$d$  = diameter pipa (m)

$V$  = kecepatan fluida (m/s)

*Minor losses* adalah energi yang hilang dari fluida disebabkan oleh bentuk lokal dari saluran, seperti; perubahan luas penampang, katup, belokan, *orifice* dll. *Minor losses* terjadi karena aliran yang mengalir melewati bentuk lokal dari saluran mengalami perubahan kecepatan, arah atau besarnya, maupun keduanya.



Gambar 2.11 : Bentuk-bentuk lokal saluran

Sumber : Boris Neckrasov, 1990 : 61

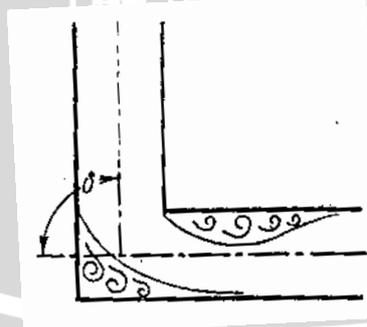
Minor losses dapat dirumuskan:

$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 61}) \quad (2.12)$$

Dengan  $\zeta$  adalah koefisien kerugian *minor losses* dan  $V$  adalah kecepatan fluida.

### 2.7.1 Minor Losses Pada Belokan

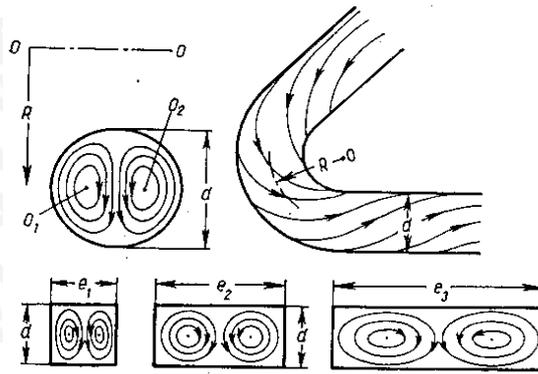
Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan ( $\delta$ ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap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



Gambar 2.12 : Belokan siku

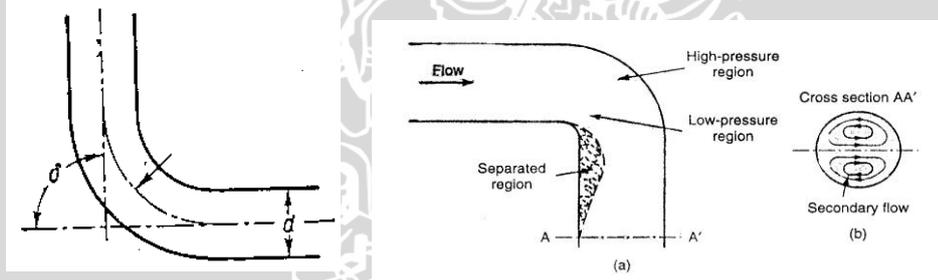
Sumber : Boris Neckrasov, 1990:118

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



Gambar 2.13 : Profil aliran melewati belokan  
 Sumber : Boris Neckrasov, 1990:117

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 2.14 : Belokan *circular* 90°  
 Sumber : Boris Neckrasov, 1990:114

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

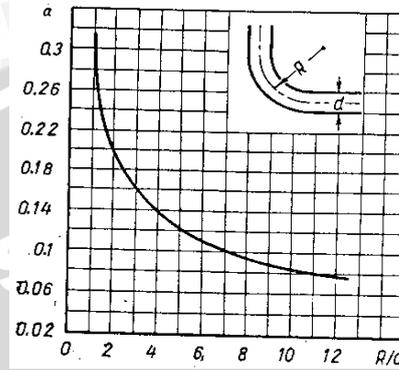
$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1990: 61}) \quad (2.13)$$

Koefisien kerugian belokan tergantung pada rasio jari-jari belokan terhadap diameter pipa ( $\frac{R}{d}$ ) atau bisa disebut radius belokan relatif, sudut belokan ( $\delta$ ) dan bentuk penampang pipa. (Nekrasov, 1990:114)

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

$$\zeta_{\text{bend}} = 0,73 abc \quad (2.14)$$

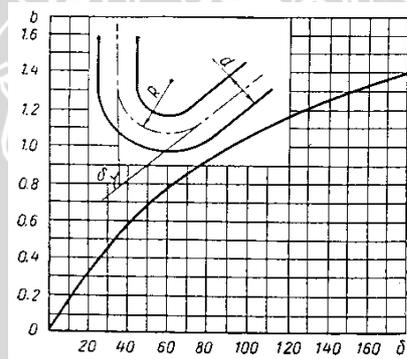
dimana,  $a$  = fungsi dari radius belokan relatif ( $\frac{R}{d}$ )



Gambar 2.15 : Grafik hubungan ( $\frac{R}{d}$ ) terhadap nilai  $a$

Sumber : Boris Neckrasov, 1990:115

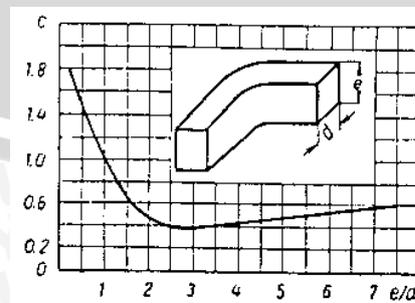
$b$  = fungsi dari sudut belokan ( $\delta$ )



Gambar 2.16 : Grafik hubungan ( $\delta$ ) terhadap nilai  $b$

Sumber : Boris Neckrasov, 1990:116

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



Gambar 2.17 : Grafik hubungan ( $\frac{e}{d}$ ) terhadap nilai  $c$

Sumber : Boris Neckrasov, 1990:116

## 2.8 Flow Conditioner

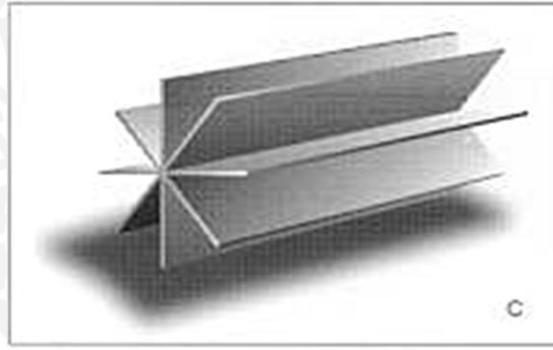
*Flow conditioner* adalah suatu alat yang dapat mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada aliran pada suatu instalasi perpipaan sehingga dapat mengurangi turbulensi. *Flow conditioner* mempunyai kemampuan untuk mengisolasi gangguan-gangguan aliran yang disebabkan oleh belokan, katup, perubahan luas penampang, dan *orifice*, dengan cara menghilangkan *swirl* atau *vortex*. *Flow conditioner* juga bisa mengkondisikan aliran menjadi lebih stabil sehingga mencapai kondisi aliran *fully developed* (mantap) lebih cepat dengan menempuh panjang pipa lurus yang lebih pendek.

Karena *flow conditioner* bisa mengurangi terjadinya separasi dan *vortex*, yang merupakan penyebab hilangnya energi pada aliran, yang menghasilkan *pressure drop* pada belokan pipa, terjadinya getaran pada pipa, dan kavitasi, maka pemasangan *flow conditioner* dapat meminimalisasi kerugian tersebut ketika aliran melewati belokan, katup, dll. Di lain pihak pemasangan *flow conditioner* pada instalasi perpipaan sendiri juga dapat menyebabkan *pressure drop*. Pemasangan *flow conditioner* akan efektif jika *pressure drop* akibat gangguan-gangguan aliran yang diminimalisasikan oleh *flow conditioner* lebih besar daripada *pressure drop* yang dihasilkan oleh *flow conditioner* itu sendiri.

Ada beberapa *flow conditioner* yang sering digunakan yaitu, *plat perforasi*, *honey comb*, *vane*, *tube bundle*, dll. Pada penelitian ini jenis *flow conditioner* yang dipakai adalah *vane*.

### 2.8.1 Vane

*Vane* adalah salah satu jenis *flow conditioner* yang terdiri dari plat/ sirip yang memiliki panjang yang sama dan membentuk sudut yang simetris terhadap garis tengah tabung. *Vane* merupakan *flow conditioner* yang memiliki beberapa kesamaan dengan *tube bundle* dimana dapat secara efektif menghilangkan *swirl/vortex* pada aliran lebih besar daripada *flow conditioner* jenis lainnya.



Gambar 2.18 : *Vane*  
 Sumber : Jeff Deane

Meskipun *vane* baik dalam menghilangkan *swirl* atau *vortex*, hasil penelitian mengatakan terjadi beberapa kesalahan pengukuran pada aliran. Hal ini dikarenakan profil aliran yang dihasilkan *vane* tidak cukup stabil dan dapat menyebabkan gangguan pada profil kecepatan aliran. Kekurangan ini menyebabkan *vane* membutuhkan dimensi yang lebih panjang untuk mencapai aliran *fully developed* dibandingkan dengan *flow conditioner* lain (plat perforasi). Kelebihan *vane* di samping mampu menghilangkan *swirl* lebih baik dari pada *flow conditioner* lain, *pressure drop* yang dihasilkan alat ini relatif lebih kecil. Dengan *vane* penghalangan aliran lebih kecil terjadi, sehingga kehilangan energi pada aliran lebih kecil. Adapun kelebihan lain dari penggunaan *flow conditioner* jenis *vane* ini adalah proses pembuatannya lebih mudah dan dengan biaya yang lebih murah. Hal ini diperjelas pada tabel perbandingan *flow conditioner* dibawah ini:

Flow conditioner	Fouling immunity	Pressure loss <sup>1</sup>	Swirl <sup>2</sup>	Fluid stratification	Temperature stratification
Tabs	High	Very low	High	High	High
Tube bundles	Low	High	High	Low	Low
Perforated plates	Low	High	High	Low	Low
Screens	Low	High	Medium	Low	Low
Vanes	Low	Low	High	Low	Low

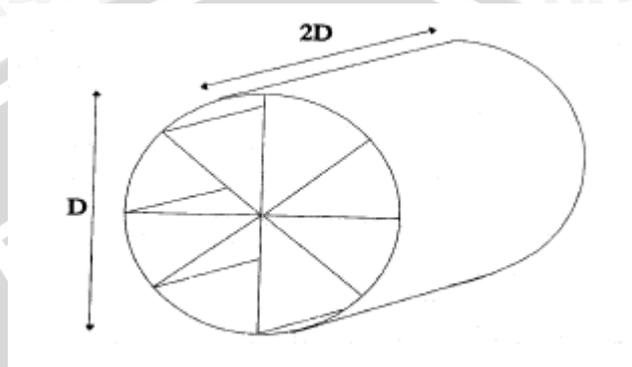
Notes: <sup>1</sup> Indicates flow conditioner pressure loss.  
<sup>2</sup> Indicates the ability of the flow conditioner to provide reduce or eliminate swirl.

Gambar 2.19 : Tabel perbandingan *Flow Conditioner*  
 Sumber : Jeff Deane

Adapun bentuk standar *vane*:

### 1. *Etoile Flow Straightener*

Terdiri dari 8 plat/ sirip yang memiliki panjang yang sama dan membentuk pola bintang terhadap garis tengah tabung. Panjang dari *flow conditioner* jenis ini adalah dua kali diameter tabung ( $2D$ ). Sangat baik dalam menghilangkan *swirl* namun profil aliran yang dihasilkan kurang stabil.



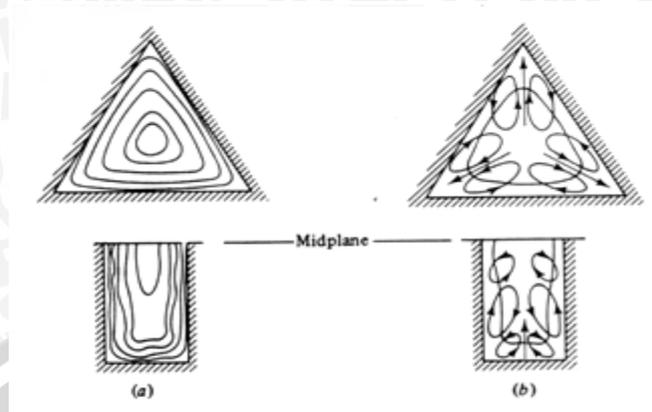
Gambar 2.20 : *Etoile Flow Straightener*

Sumber : James E. Gallagher, 1995

Dari hasil penelitian yang ada, menunjukkan bahwa *Etoile Flow Straightener* merupakan jenis *vane* yang memiliki performa bagus dalam hal kemampuan menghilangkan *swirl* dan meminimalisir *pressure drop* namun profil aliran yang dihasilkan kurang baik.

*Vane* merupakan *flow conditioner* yang bisa mengurangi *vortex* sehingga aliran dari belokan yang berotasi yang menghasilkan *twin eddy* (pusaran ganda) setelah melewati *vane* maka pola alirannya akan lurus. Hal ini karena *vortex* yang menyebabkan fluida berotasi dapat dikurangi. Saat aliran fluida melewati belokan pipa, terjadi proses pemecahan aliran yang disebabkan profil penampang lintang *vane* yang berbentuk juring. Fenomena ini hampir sama dengan aliran fluida yang melewati penampang segitiga. Pada sisi penampang segitiga terjadi tegangan geser yang bernilai konstan, dan semakin berkurang secara drastis hingga mencapai sudut-sudut penampangnya. Hal ini disebabkan karena saat memasuki penampang, aliran sekunder mendesak aliran putarannya (*vortex*) menuju sudut-sudutnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.21(b), sehingga kontur-kontur kecepatan aksialnya serupa dengan bentuk penampang melintang yang

ditunjukkan pada gambar 2.21(a) dan profil *vortex* saat melewati *vane* semakin kecil.

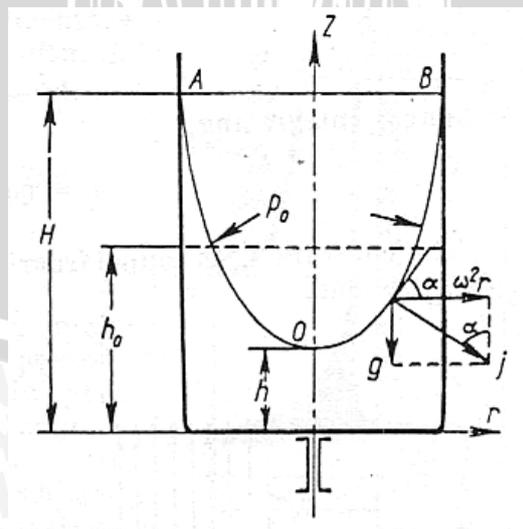


Gambar 2.21 : Profil aliran melewati penampang segitiga

Sumber : Frank M White, 1994:333

Ketika *vane* dipasang pada hilir belokan, efek pelurusan aliran oleh *vane* karena pengurangan *vortex*, sudah mulai berpengaruh terhadap aliran fluida meskipun aliran belum melewati *vane*. Jadi intensitas *vortex* sedikit demi sedikit berkurang, semakin dekat dengan *vane* semakin besar pengaruh pelurusan aliran dan aliran akan benar-benar lurus setelah melewati *vane*.

Pengaruh *vane* pada aliran sebelum melewati *vane* disebabkan karena adanya aliran induksi. Hal ini terjadi karena adanya viskositas dan tegangan geser antar lapisan fluida antara fluida yang berhubungan dengan alat dan fluida yang belum melewati alat.



Gambar 2.22 : Putaran vessel terbuka terhadap sumbu vertikal

Sumber : Boris Nekrasov, 1990 : 45

Fenomena aliran melewati *vane* sama seperti fenomena fluida pada *rotational vessel*. Gambar 2.22 merupakan gambar sebuah vessel silindris terbuka berisi cairan, yang berputar terhadap sumbu vertikal dengan kecepatan sudut  $\omega$ . Yang terjadi adalah cairan di dalamnya ikut berputar baik yang berhubungan langsung dengan dinding vessel maupun yang tidak dan permukaan cairan menjadi mencekung. Cairan yang ikut berputar memiliki kecepatan sudut yang berbeda-beda sesuai dengan letak cairan terhadap radius dari pusat vessel. Hal ini dikarenakan oleh tegangan geser cairan akibat viskositas sehingga mengakibatkan munculnya dua gaya yang bekerja pada cairan; gaya gravitasi dan gaya sentrifugal, yang berurutan bernilai  $g$ , dan  $\omega^2 r$ , tiap satuan massa fluida.

Gaya yang bekerja pada tiap bagian cairan merupakan resultan dari gaya sentrifugal ( $\omega^2 r$ ) dan gaya gravitasi ( $g$ ). Karena gaya sentrifugal yang terjadi, maka resultan gaya yang bekerja pada cairan meningkat dengan bertambahnya radius dari pusat vessel, sementara kecenderungan terhadap sumbu horizontal menurun. Pada gambar 2.23 dari kurva AOB dapat dilihat bahwa :

$$\tan \alpha = \frac{dz}{dr} = \frac{\omega^2 r}{g} \quad (2.15)$$

Sehingga,

$$dz = \frac{\omega^2 r}{g} dr \quad (2.16)$$

Dan diintegalkan maka,

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + C \quad (2.17)$$

Dimana,

$z$  = Posisi pada sumbu  $z$

$r$  = Posisi pada sumbu  $r$  atau radius dari pusat vessel

$g$  = Percepatan gravitasi

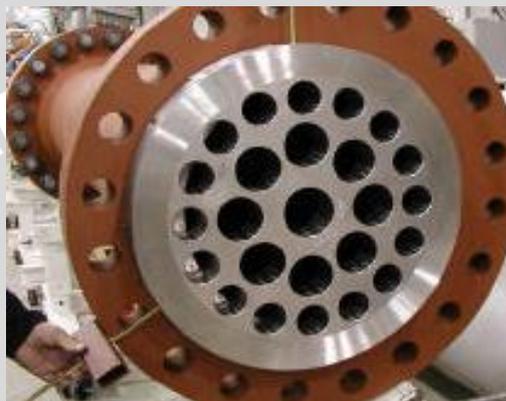
$C$  =  $h$ , ketinggian minimum fluida dari dasar vessel.

Persamaan di atas digunakan untuk menentukan posisi dari permukaan fluida di dalam vessel pada sumbu  $z$  terhadap posisi  $r$ .

## 2.9 Plat Perforasi

### 2.9.1. Definisi Plat Perforasi

Plat perforasi adalah suatu alat pengkondisi aliran/ *flow conditioner* yang berfungsi untuk mengurangi *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup/ *valve*, belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa (Shao, 2001:1). Plat perforasi banyak digunakan dalam industri perpipaan gas, minyak, dan industri kimia dalam usaha untuk mengurangi terjadinya *vortex* tersebut .



Gambar 2.23 : Plat perforasi  
Sumber : [www.cpcal.com](http://www.cpcal.com)



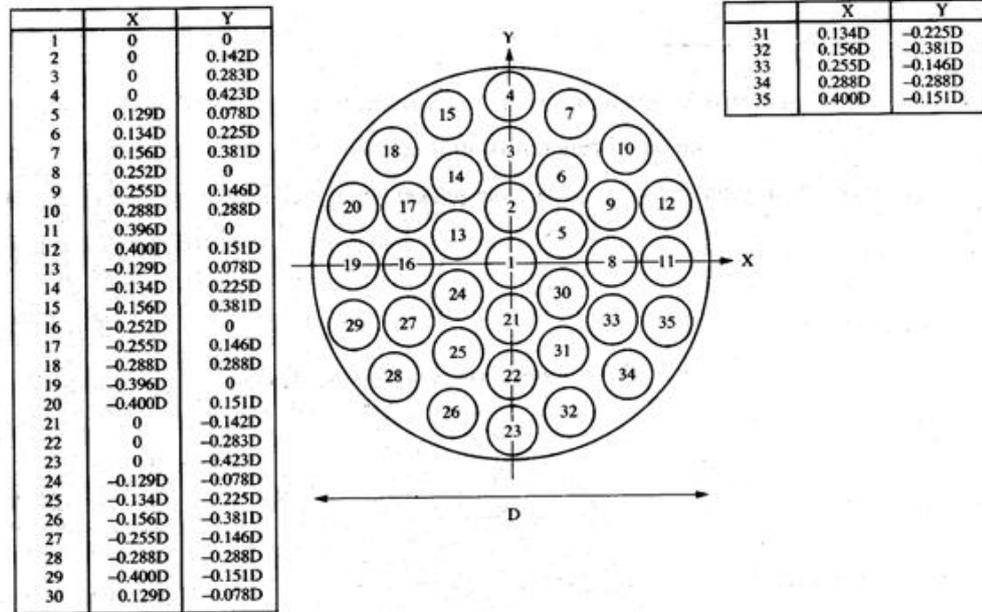
Gambar 2.24 : Aliran fluida yang melalui plat perforasi  
Sumber : [www.cpcal.com](http://www.cpcal.com)

Gambar 2.24 menunjukkan aliran fluida yang melalui plat perforasi dimana dari simulasi aliran diatas dapat dilihat bahwa fluida setelah melewati plat perforasi efek *vortex*/ pusaran menjadi berkurang, ditunjukkan dengan profil aliran yang laminar dimana garis-garis aliran fluida tidak berpotongan satu sama lain.

2.9.2 Jenis Plat Perforasi

Plat perforasi/ *perforated plate flow conditioner* banyak macamnya, jenis plat yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

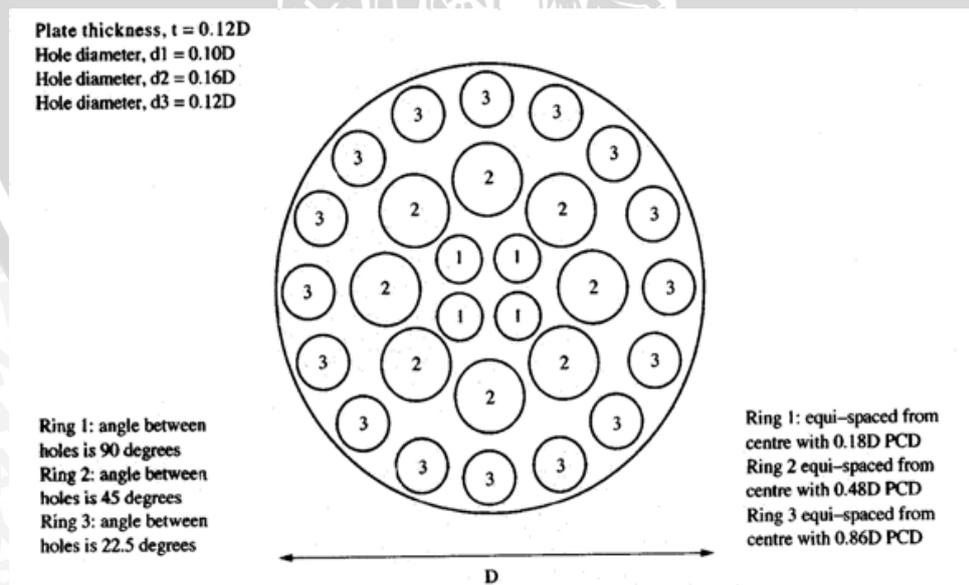
1. *MHI ( Mitsubishi Heavy Industries ) conditioner*



Gambar 2.25 : *MHI Conditioner*

Sumber : Shao, Ziqiong. 2001:22

2. *The Sparmen ( NEL ) conditioner*

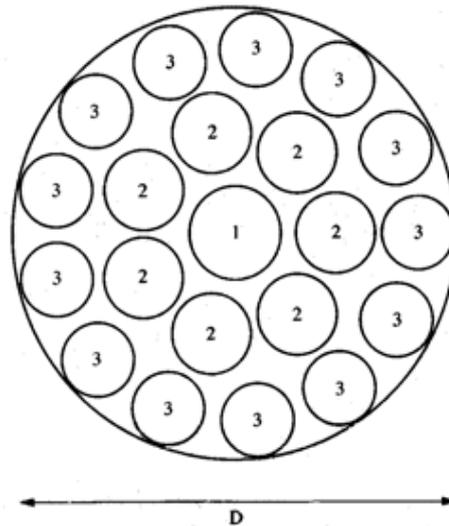


Gambar 2.26 : *The Sparmen ( NEL ) Conditioner*

Sumber : Shao, Ziqiong. 2001: 23

3. The Laws conditioner

Plate thickness,  $t = 0.124D$   
 Hole diameter,  $d_1 = 0.2090D$   
 Hole diameter,  $d_2 = 0.1857D$   
 Hole diameter,  $d_3 = 0.1625D$



Ring 2: angle between holes is 51.428 degrees  
 Ring 3: angle between holes is 27.69 degrees

Ring 2: equi-spaced from centre with 0.4582D PCD  
 Ring 3: centre with 0.8287D PCD

Gambar 2.27 : The Laws Conditioner

Sumber : Shao, Ziqiong. 2001: 22

Geometri dari Plat perforasi tipe *Laws* berdasarkan teori *Elder* yaitu :

$$d_1 = 0,2679 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot D$$

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\alpha/n} \cdot D$$

$$d_3 = 0,734 \cdot \sqrt{\alpha/m} \cdot D \quad (\text{Shao, Ziqiong. 2001: 27}) \quad (2.18)$$

Dimana,

- $n$  = Jumlah lubang pada lubang  $d_2$  yang terletak pada lintasan tengah.
- $m$  = Jumlah lubang pada lubang  $d_3$  yang terletak pada lintasan terluar
- $D$  = Diameter dalam pipa
- $d_1$  = Diameter lubang pusat.
- $d_2$  = Diameter lubang pada lintasan tengah.
- $d_3$  = Diameter lubang pada lintasan terluar.
- $\alpha$  = porositas ( % )

Plat perforasi tipe *Laws* ini banyak digunakan karena memiliki beberapa keuntungan diantaranya; pembuatan lebih mudah, pressure loss yang kecil, dan dapat menghasilkan aliran yang lebih mantap/ *fully developed* daripada jenis plat perforasi yang lainnya (Ziqiong, Shao, 2001:28). Oleh karena itu fokus dalam penelitian ini adalah membahas plat perforasi jenis *Laws Conditioner*.

### 2.10 Hipotesis

Dengan bertambahnya panjang *vane* akan meningkatkan kemampuan *vane* untuk meluruskan aliran dan efek penghilangan *vortex* akan lebih besar, sehingga akan mengurangi kerugian *head* aliran yang melewati belokan pipa.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh variasi panjang *vane* terhadap penurunan tekanan dan kerugian *head* pada belokan pipa.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan November 2010 - selesai.

#### 3.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan sehingga dapat menguatkan dalam pengambilan hipotesa serta memperjelas hasil penelitian.

##### 2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk studi terhadap peralatan-peralatan yang diperlukan dalam penelitian.

##### 3. Pembuatan Alat

Pembuatan Alat dimulai dengan mempersiapkan pipa untuk instalasi termasuk pipa uji, *vane* dan plat perforasi yang akan diteliti.

##### 4. Perancangan Instalasi

Perancangan instalasi dimulai dengan merancang jaringan pipa, penempatan alat berupa: *vane*, plat perforasi dan penempatan alat ukur pada pipa uji.

### 3.4 Peralatan Penelitian

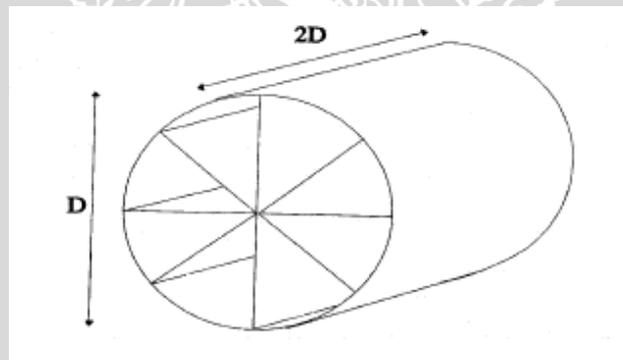
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

#### 1. Pipa PVC

Digunakan sebagai jaringan pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini digunakan pipa PVC dengan diameter 1,25 inchi. Pada belokan pertama, pipa yang diuji tidak di tambahkan *vane*. Selanjutnya pada belokan pipa yang kedua di tambahkan *vane* dengan variasi panjang 2D, 3D, dan 4D. Semua *vane* yang terpasang di tambahkan dengan plat perforasi dengan tebal 50 mm.

#### 2. Vane

Terbuat dari *acrylic* dengan geometri dari *vane* adalah sebagai berikut: Terdiri dari 8 plat/ sirip yang memiliki panjang yang sama dan membentuk pola bintang terhadap garis tengah tabung. Panjang minimal dari *flow conditioner* jenis ini adalah dua kali diameter tabung (2D).



Gambar 3.1 : Etoile Flow Straightener

- Diameter tabung (D) = 1,25 inchi =  $1,25 \times 25,4 \text{ mm} = 31,75 \text{ mm}$
- Panjang *vane* = 63,5 mm; 95,25 mm; 127 mm

#### 3. Plat Perforasi

Terbuat dari *acrylic* dengan geometri dari plat perforasi adalah sebagai berikut:

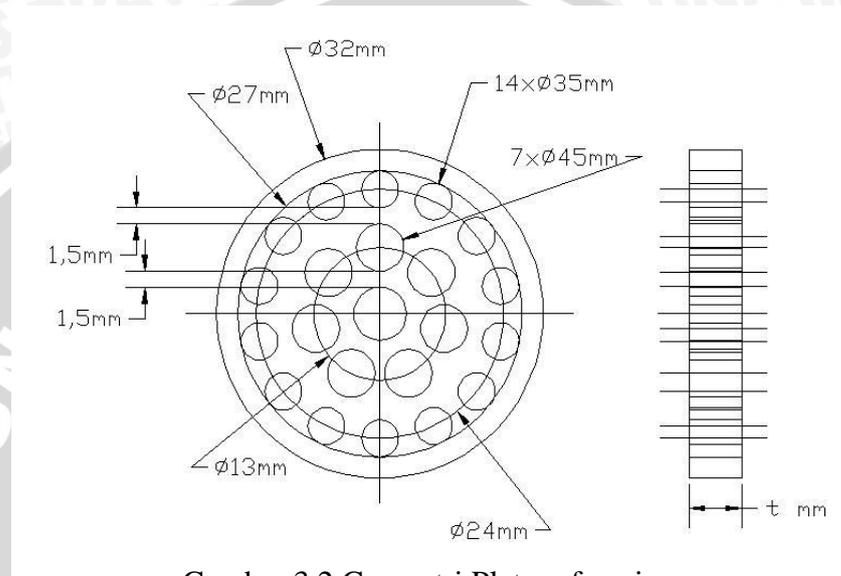
- Jumlah total lubang adalah 26 buah dengan susunan jumlah lubang 1; 8; 17.

- Porositas dari plat diambil 50 %, sehingga diameter lubang pada plat menurut teori Elder adalah:

$$d_1 = 0,2679 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot D = 0,2679 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 39 \text{ mm} = 73 \approx 7,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\alpha/n} \cdot D = 0,6238 \cdot \sqrt{0,5/7} \cdot 39 \text{ mm} = 6,50 \approx 6,5 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0,734 \cdot \sqrt{\alpha/m} \cdot D = 0,734 \cdot \sqrt{0,5/14} \cdot 39 \text{ mm} = 5,4 \approx 5,5 \text{ mm}$$



Gambar 3.2 Geometri Plat perforasi

#### 4. Pompa

Digunakan untuk mengalirkan air yang dialirkan oleh pompa ke seluruh jaringan belokan pipa uji dan dikembalikan lagi ke bak penampung.

Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

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

#### 5. Bak Penampung

Digunakan untuk menampung air yang dialirkan oleh pompa dan pembuangan dari jaringan pipa.

### 6. Rotameter

Digunakan untuk mengukur debit aliran air yang melalui belokan pipa uji. Kapasitas rotameter yang digunakan adalah 0-2000 liter/jam.



Gambar 3.3 Rotameter

### 7. Katup ( valve )

Digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui jaringan pipa.

### 8. Manometer

Digunakan untuk mengetahui tekanan air. Manometer yang akan dipakai adalah manometer air H<sub>2</sub>O dengan hasil data yang diambil berupa tekanan.



Gambar 3.4 manometer

**9. Stopwatch**

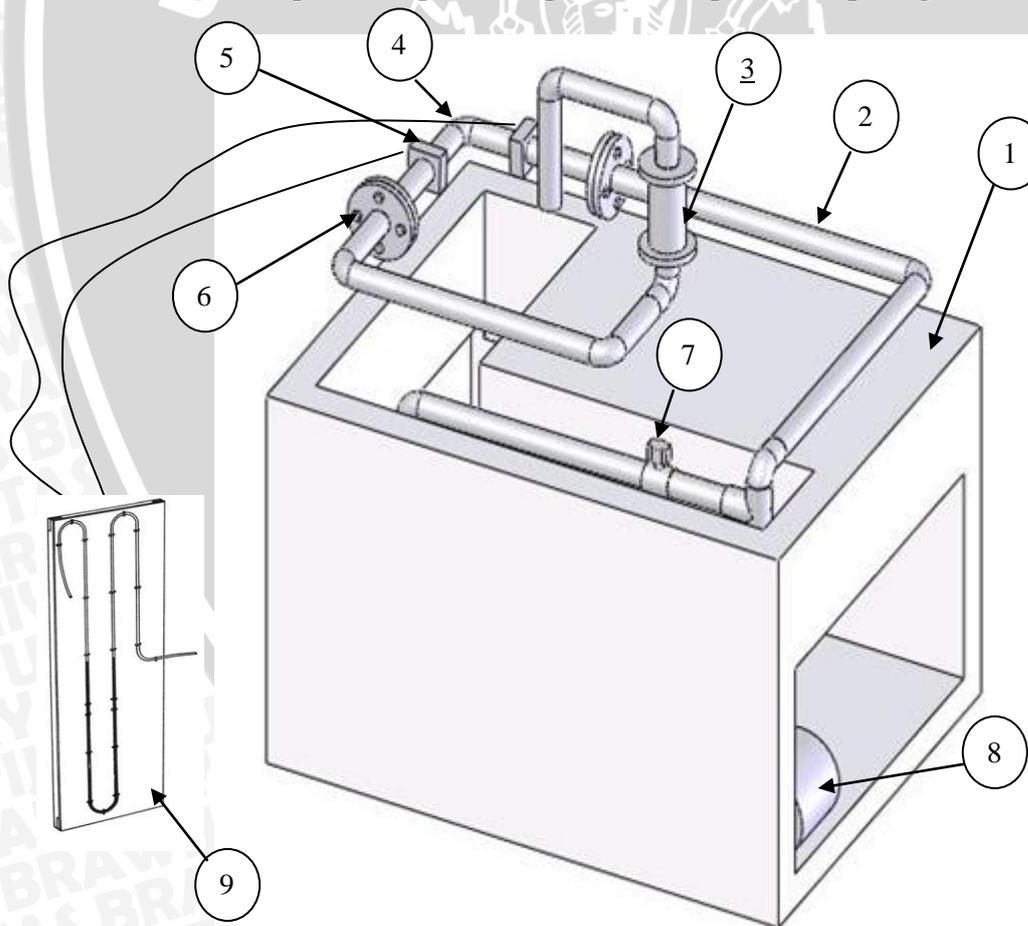
Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pelaksanaan pengambilan data. Waktu yang digunakan dalam pengambilan data yaitu 1 menit tiap variasi debit aliran.



Gambar 3.5 Stopwatch

**3.5 Instalasi Penelitian**

Susunan peralatan pada saat penelitian dapat dilihat pada gambar 3.6 :

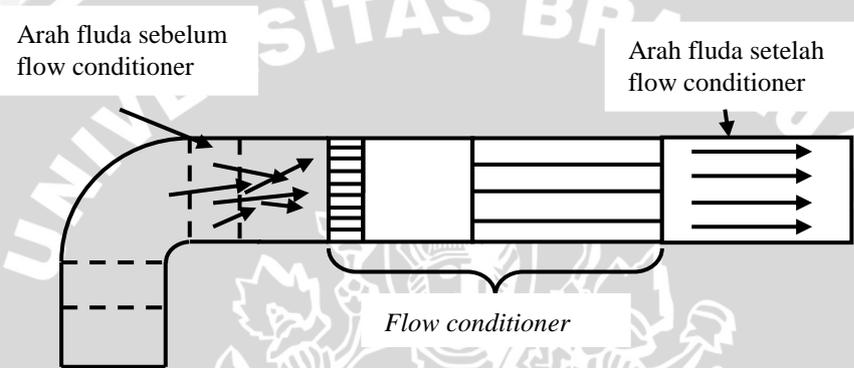


Gambar 3.6 Instalasi Uji

Keterangan :

- |   |                |
|---|----------------|
| 1. Bak penampung                              | 6. Flens       |
| 2. Pipa                                       | 7. katup/ kran |
| 3. Rotameter                                  | 8. Pompa       |
| 4. Belokan uji dengan <i>flow conditioner</i> | 9. Manometer   |
| 5. plat perforasi                             |                |

Skema instalasi pada belokan uji dengan *flow conditioner* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.7 Skema instalasi pada belokan uji

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

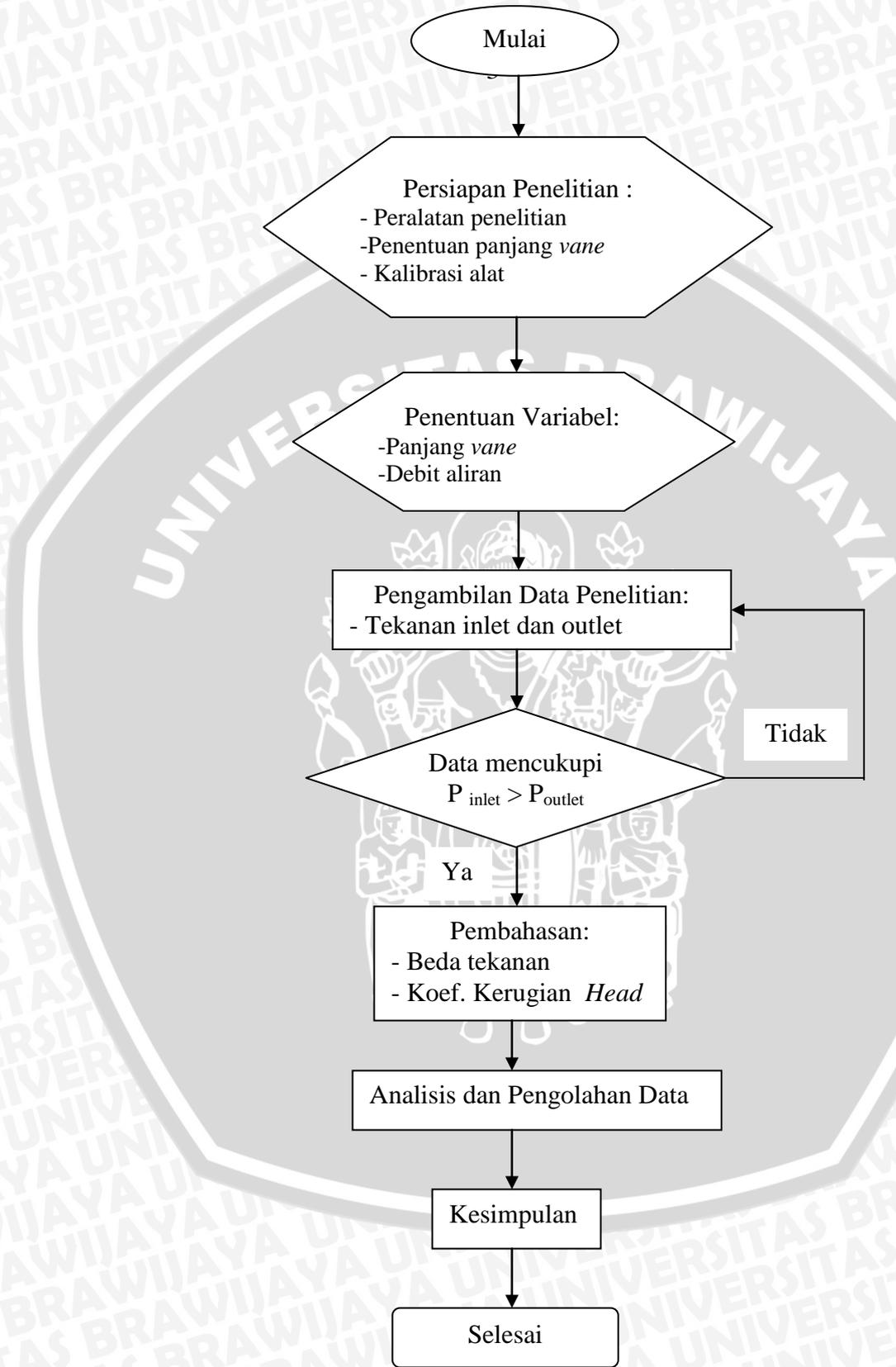
- Variabel bebas yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian adalah :
  - Debit aliran : 1100 liter/menit, 1200 liter/menit, 1300 liter/ menit, 1400 liter/ menit, 1500 liter/ menit, 1600 liter/ menit, 1700 liter/ menit, 1800 liter/ menit, 1900 liter/ menit, 2000 liter/ menit.
- Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :
  - Kerugian *head* pada belokan pipa yang diamati.
  - Koefisen kerugian *head* pada belokan pipa.
- Variabel terkontrol yaitu variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :
  - Panjang *vane* : 63,5 mm; 95,25 mm; 127 mm.

### 3.7 Metode Pengambilan Data

Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan instalasi jaringan pipa dengan belokan pipa yang memiliki *flow conditioner* berupa kombinasi *vane*-plat perforasi dengan jarak antara *vane* dengan plat perforasi telah ditentukan. Pastikan instalasi pipa tidak bocor.
2. Menutup katup kran pengatur debit kemudian mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa dengan menyalakan pompa.
3. Mengatur *head* pompa sehingga rotameter menunjukkan debit 2000 liter/jam. Diamkan instalasi berjalan sekitar 10 menit sehingga fluida telah mengisi instalasi pipa seluruhnya untuk memperoleh data yang akurat.
4. Pengambilan data dimulai dengan mengatur debit dengan melihat rotameter yang pengaturnya menggunakan katup, dimana debit aliran dimulai dari yang terendah yaitu 1000 liter/jam. Dikarenakan tidak stabilnya penunjukan ketinggian pada manometer, dilakukan dengan mencari rata-rata ketinggian air dari ketinggian air paling besar dengan ketinggian air paling rendah untuk memperoleh data yang akurat. Pengambilan data dilakukan kembali dengan debit yang baru sampai debit 2000 liter/jam.
5. Mengganti pipa uji dengan pipa uji lain yang diuji selanjutnya.
6. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 5 dengan variasi debit yang tetap.
7. Pengolahan data tekanan untuk mendapatkan *head* rata-rata aliran fluida pada tiap debit untuk masing-masing pipa uji.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram alir



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data hasil penelitian

Untuk menghitung kerugian *head* (mH<sub>2</sub>O) aliran fluida pada belokan pipa dan untuk mengetahui pengaruh panjang *flow conditioner* yang digabung dengan plat perforasi terhadap besarnya kerugian *head* tersebut, diperlukan data yang mendukung. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan manometer dengan fluida air pada titik sebelum belokan (H<sub>1</sub>), titik tepat setelah belokan (H<sub>2</sub>), dan titik setelah melewati *flow conditioner* (H<sub>3</sub>). Sehingga, data yang dihasilkan berupa tekanan dalam satuan milimeter H<sub>2</sub>O.

### 4.2 Pengolahan data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari Kecepatan aliran fluida (*v*), Beda tekanan ( $\Delta p$ ) dan Kerugian *head* ( $\Delta H$ ), dimana data yang diperoleh pada saat penelitian adalah sebagai berikut:

- Diameter dalam pipa ( *D* ) = 38,7 mm
- Suhu air ( *T* ) = 23°C
- Percepatan gravitasi ( *g* ) = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Debit aliran ( *Q* ) dengan variasi = 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000 liter/ jam

Dari temperatur air pada 23°C tersebut didapatkan nilai dari densitas dan viskositas kinematiknya sebagai berikut (Berdasarkan tabel properties air dari Streeter, Victor L, E. Benjamin, 1981; Lampiran):

- Densitas (  $\rho$  ) = 997,54 Kg/ m<sup>3</sup>
- Viskositas kinematik (  $\nu$  ) = 0,941.10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

#### Contoh perhitungan data :

Dari data tekanan yang terbaca pada manometer, dapat diketahui beda tekanan yang terjadi. Beda tekanan yang terjadi pada belokan tanpa pemasangan *flow conditioner* adalah sebagai berikut :

- Luas penampang pipa ( *A* )

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

$$A = \frac{\pi}{4} (38,7)^2$$

$$A = 1175,68665 \text{ mm}^2 = 11,757 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Kecepatan aliran fluida ( $v$ )

$$\text{Pada } Q = 1100 \text{ liter/jam} = 3,056 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{3,056 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{11,757 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,259 \text{ m/s}$$

- Bilangan *Reynold* ( $Re$ )

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$= \frac{0,259 \text{ m/s} \times 38,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,941 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 10688,47238$$

Hasil perhitungan bilangan *Reynold* menunjukkan bahwa aliran yang terjadi sepanjang pipa uji adalah turbulen.

- Data yang terlihat di manometer dicatat pada tiap titiknya dan dihitung  $\Delta H$  dengan ketentuan sebagai berikut:

- $\Delta H_1$  = beda tekanan pada belokan  $H_1 - H_2$
- $\Delta H_2$  = beda tekanan pada sebelum dan sesudah *conditioner*  $H_2 - H_3$
- $\Delta H_3$  = beda tekanan pada keseluruhan pipa uji  $H_1 - H_3$

$\Delta H$  yang terjadi pada belokan pipa tanpa pemasangan *flow conditioner* pada debit 1100 liter/jam :

$$H_1 = 205 \text{ mmH}_2\text{O} = 0,205 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_2 = 185 \text{ mmH}_2\text{O} = 0,185 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_3 = 190 \text{ mmH}_2\text{O} = 0,190 \text{ mH}_2\text{O}$$

Sehingga nilai  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= 0,205 \text{ mH}_2\text{O} - 0,185 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0,020 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= 0,185 \text{ mH}_2\text{O} - 0,190 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0,005 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_3 &= 0,205 \text{ mH}_2\text{O} - 0,190 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 0,015 \text{ mH}_2\text{O}\end{aligned}$$

➤ Kerugian *head* ( $\Delta H$ )

$$\begin{aligned}\Delta H &= \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} \longrightarrow \Delta p = \Delta H \cdot \rho \cdot g \\ &= 0,02 \text{ m} \cdot 997,54 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 195,71 \text{ Pa}\end{aligned}$$

➤ Koefisien Kerugian *head*

$$\begin{aligned}\Delta H &= \xi_{\text{Bend}} \frac{v^2}{2g} \longrightarrow \xi_{\text{Bend}} = \frac{\Delta H}{\frac{v^2}{2g}} \\ &= \frac{(0,02 \text{ m}) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2)}{(0,259 \text{ m/s})^2} \\ &= 5,809\end{aligned}$$

### 4.3 Data Hasil Pengolahan

Dari pengolahan data pada subbab 4.2 diatas dapat ditabelkan sebagai berikut:

#### 1. Kecepatan (v)

Tabel 4.1. Kecepatan Aliran Fluida (v) pada Instalasi Pipa

Debit (liter/jam)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Kecepatan (m/s)	Bil. Reynold (Re)
1100	3,056.10 <sup>4</sup>	0,260	10688,472
1200	3,333.10 <sup>4</sup>	0,284	11660,123
1300	3,611.10 <sup>4</sup>	0,307	12631,809
1400	3,889.10 <sup>4</sup>	0,331	13603,494
1500	4,167.10 <sup>4</sup>	0,354	14575,180
1600	4,444.10 <sup>4</sup>	0,378	15546,831
1700	4,722.10 <sup>4</sup>	0,402	16518,516
1800	5.10 <sup>4</sup>	0,425	17490,202
1900	5,278.10 <sup>4</sup>	0,449	18461,888
2000	5,556.10 <sup>4</sup>	0,472	19433,573

## 2. Kerugian head ( $\Delta H$ )

Tabel 4.2. Kerugian head ( $\Delta H_1$ )

No.	Bil. Reynold (Re)	Kerugian head ( $\Delta H$ )			
		Tanpa Flow conditioner	2D	3D	4D
1	10688,472	0,02	0,015	0,01	0,003
2	11660,123	0,023	0,017	0,012	0,004
3	12631,809	0,024	0,019	0,014	0,006
4	13603,494	0,028	0,021	0,017	0,008
5	14575,180	0,03	0,025	0,021	0,009
6	15546,831	0,031	0,028	0,024	0,0095
7	16518,516	0,033	0,032	0,027	0,011
8	17490,202	0,036	0,035	0,028	0,012
9	18461,888	0,039	0,036	0,032	0,014
10	19433,573	0,043	0,038	0,035	0,016

**Ket:** 2D, 3D, 4D adalah variasi panjang *vane* yang diujikan. dimana,

2D = 62,5 mm; 3D = 95,25 mm; dan 4D = 127 mm.

## 3. Beda Tekanan ( $\Delta p$ )

Tabel 4.3. Beda tekanan ( $\Delta P_1$ )

No.	Bil. Reynold (Re)	Beda tekanan ( $\Delta p$ )			
		Tanpa Flow conditioner	2D	3D	4D
1	10688,472	195,717	146,788	97,859	29,358
2	11660,123	225,075	166,360	117,430	39,143
3	12631,809	234,861	185,931	137,002	58,715
4	13603,494	274,004	205,503	166,360	78,287
5	14575,180	293,576	244,647	205,503	88,073
6	15546,831	303,362	274,004	234,861	92,966
7	16518,516	322,934	313,148	264,218	107,645
8	17490,202	352,291	342,505	274,004	117,430
9	18461,888	381,649	352,291	313,148	137,002
10	19433,573	420,792	371,863	342,505	156,574

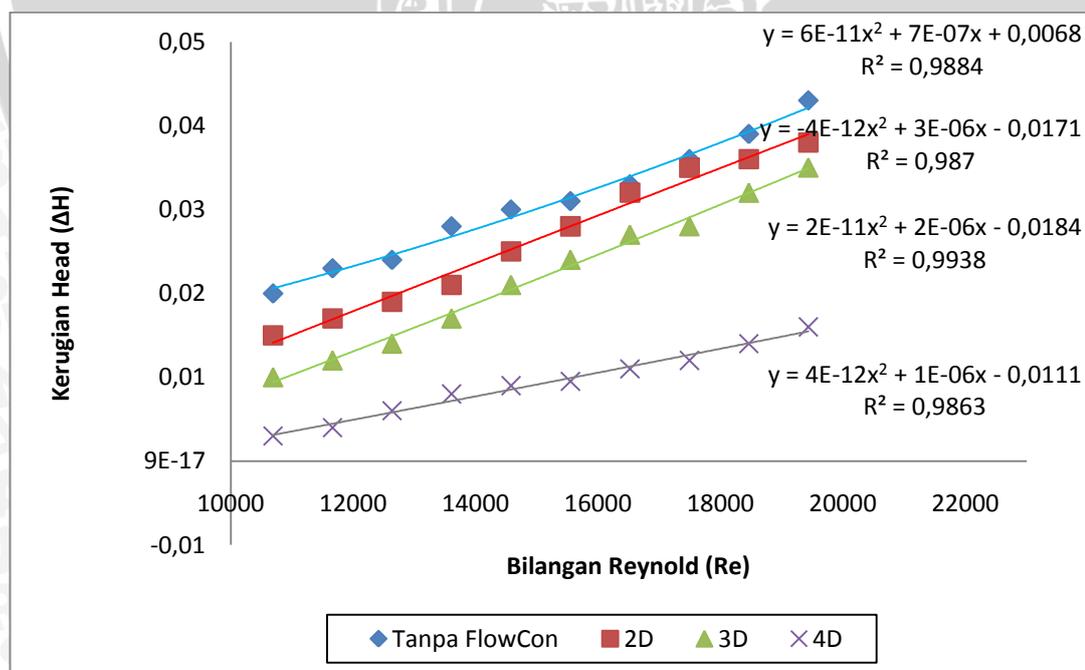
#### 4. Koefisien Kerugian Head ( $\xi$ )

Tabel 4.4 Koefisien Kerugian Head ( $\xi_{\text{Bend}}$ )

No.	Bil. Reynold (Re)	Koefisien kerugian head ( $\xi$ )			
		Tanpa Flow conditioner	2D	3D	4D
1	10688,472	5,809	4,357	2,905	0,871
2	11660,123	5,614	4,149	2,929	0,976
3	12631,809	4,991	3,951	2,912	1,248
4	13603,494	5,021	3,766	3,048	1,435
5	14575,180	4,686	3,905	3,28	1,406
6	15546,831	4,256	3,844	3,295	1,304
7	16518,516	4,013	3,892	3,284	1,338
8	17490,202	3,905	3,797	3,037	1,302
9	18461,888	3,797	3,505	3,115	1,363
10	19433,573	3,778	3,339	3,075	1,406

#### 4.4 Hasil Penelitian

##### 4.4.1 Hubungan antara Bilangan Reynold (Re) terhadap kerugian head ( $\Delta H$ ) pada hulu dan hilir belokan pipa



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Bilangan Reynold terhadap kerugian head

Hubungan antara bilangan *Reynold* ( $Re$ ) terhadap kerugian *head* ( $\Delta H$ ) pada suatu fluida yang mengalir melewati belokan tanpa pemasangan *flow conditioner*, serta belokan dengan pemasangan *flow conditioner* berupa *vane* yang digabungkan dengan plat perforasi dengan variasi panjang *vane* 2D (62,5 mm), 3D (95,25 mm), 4D (127 mm) dapat dilihat pada gambar 4.1. Semua *flow conditioner* dipasang pada hilir belokan.

Gambar 4.1 menunjukkan adanya kecenderungan bahwa semakin besar bilangan *Reynold*, maka semakin besar pula kerugian *head* yang terjadi pada fluida yang mengalir untuk semua variasi, baik tanpa pemasangan *flow conditioner* maupun dengan memasang *flow conditioner*. Pada bilangan *Reynold* yang sama, semakin panjang *vane* maka kerugian *head* yang terjadi pada fluida semakin rendah.

Pada bilangan *Reynold* 10688,472 kerugian *head* yang terjadi pada variasi tanpa pemasangan *flow conditioner* sebesar 0,02 mH<sub>2</sub>O, pada bilangan *Reynold* 11660,123 kerugian *head* yang terjadi sebesar 0,023 mH<sub>2</sub>O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 10688,472 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 63,5 mm adalah sebesar 0,015 mH<sub>2</sub>O, pada bilangan *Reynold* 11660,123 kerugian *head* yang terjadi sebesar 0,017 mH<sub>2</sub>O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 10688,472 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 95,25 mm adalah sebesar 0,011 mH<sub>2</sub>O, pada bilangan *Reynold* 11660,123 kerugian *head* yang terjadi sebesar 0,012 mH<sub>2</sub>O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Pada bilangan *Reynold* 10688,472 kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 127 mm adalah sebesar 0,003 mH<sub>2</sub>O, pada bilangan *Reynold* 11660,123 kerugian *head* yang terjadi sebesar 0,004 mH<sub>2</sub>O dan semakin bertambah seiring dengan penambahan bilangan *Reynold*. Semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan *Reynold*. Aliran turbulen tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl/ vortex*. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *swirl/ vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida

kehilangan energi lebih banyak sehingga kerugian *head* yang terjadi semakin besar.

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kecepatan maka kerugian *head* juga akan ikut meningkat. Hal ini menyebabkan aliran fluida ketika melewati belokan mengalami penurunan tekanan (*pressure drop*) yaitu terjadi selisih antara tekanan di hulu ( $P_{in}$ ) dengan tekanan di hilir ( $P_{out}$ ). Adapun persamaan *head losses*, yaitu  $\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$  yang menunjukkan bahwa hubungan antara *head losses* dan perbedaan tekanan adalah sebanding dan memiliki kecenderungan yang sama dengan meningkatnya bilangan *Reynold* pada aliran fluida. Jika *head velocity* diasumsikan konstan karena beracuan pada hukum kontinuitas fluida, yakni massa fluida yang mengalir sepanjang *streamtube* adalah konstan  $A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$ , maka penurunan *head total* fluida akan menurunkan *head static* fluida, hal ini sesuai dengan persamaan *Bernoulli* untuk fluida real yaitu:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{2 \cdot g} + \sum h$$

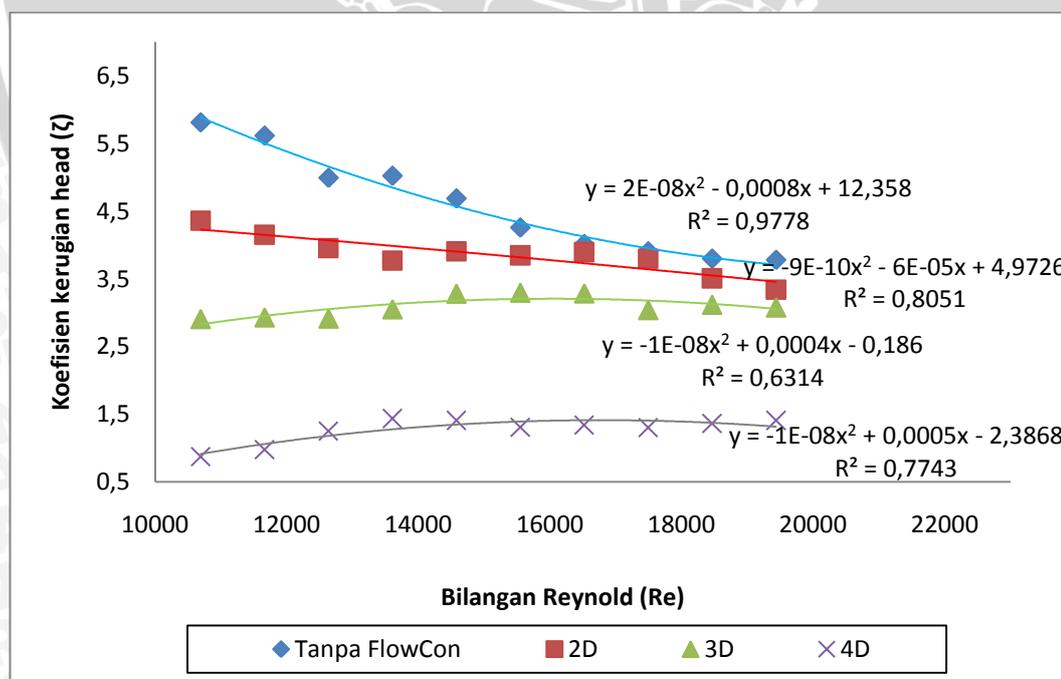
Dari gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa baik fluida yang melewati belokan dengan *flow conditioner* maupun tanpa *flow conditioner*, kerugian *head* ( $\Delta H$ ) cenderung bertambah dengan meningkatnya bilangan *Reynold*. Hal ini terjadi karena ketika bilangan *Reynold* fluida meningkat dengan viskositas fluida tetap, energi kinetik fluida yang berpotensi menyebabkan pergerakan partikel antar lapisan fluida meningkat sedangkan viskositas yang berperan meredam pergerakan tersebut tetap konstan. Hal ini sesuai dengan rumusan bilangan *Reynold* itu sendiri yaitu:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Sehingga dengan meningkatnya bilangan *Reynold* maka intensitas turbulensi fluida dan juga *vortex* yang dihasilkan ketika melewati belokan akan meningkat. Meningkatnya intensitas turbulensi fluida mengakibatkan kehilangan energi pada fluida semakin besar.

Untuk aliran fluida yang melewati belokan tanpa *flow conditioner*,  $\Delta H$  yang dihasilkan cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan pemasangan *flow conditioner*.  $\Delta H$  paling kecil dihasilkan aliran yang melewati belokan dengan *vane* panjang  $4D$  (127 mm). Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang *vane* maka kerugian *head* yang dihasilkan semakin kecil karena profil *twin eddy*/ pusaran ganda yang terbentuk pada belokan akan mendekati bentuk lingkaran. Karena ada pengaruh dari viskositas fluida dan tegangan geser antar fluida yang menimbulkan aliran induksi dan dapat mempengaruhi aliran fluida sebelum memasuki belokan sehingga dapat meminimalisir terbentuknya *vortex* dan *twin eddy*/ pusaran ganda yang tidak berprofil lingkaran. Sedangkan untuk belokan yang tanpa *flow conditioner* tidak ada pengurangan intensitas turbulensi dan juga *vortex* sehingga kerugian *head* yang dihasilkan jauh lebih besar.

#### 4.4.2 Hubungan antara Bilangan *Reynold* ( $Re$ ) terhadap Koefisien Kerugian *Head* ( $\zeta$ ) pada belokan pipa



Gambar 4.2. Grafik Hubungan antara Bilangan *Reynold* terhadap Koefisien kerugian *head*

Hubungan antara bilangan *Reynold* ( $Re$ ) terhadap koefisien kerugian *head* ( $\zeta$ ) pada suatu fluida yang mengalir melewati belokan tanpa pemasangan *flow conditioner*, serta belokan dengan pemasangan *flow conditioner* berupa *vane* yang digabungkan dengan plat perforasi dengan variasi panjang *vane* 2D (62,5 mm), 3D (95,25 mm), 4D (127 mm) dapat dilihat pada gambar 4.2. Semua *flow conditioner* dipasang pada hilir belokan.

Pada bilangan *Reynold* 10688,472 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi tanpa pemasangan *flow conditioner* sebesar 5,809 mH<sub>2</sub>O. Pada bilangan *Reynold* 10688,472 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 2D (63,5 mm) adalah sebesar 4,357 mH<sub>2</sub>O. Pada bilangan *Reynold* 10688,472 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 3D (95,25 mm) adalah sebesar 2,905 mH<sub>2</sub>O. Pada bilangan *Reynold* 10688,472 koefisien kerugian *head* yang terjadi pada variasi pemasangan *vane* dengan panjang 4D (127 mm) adalah sebesar 0,871 mH<sub>2</sub>O. Semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan *Reynold*. Aliran turbulen tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *swirl/ vortex*. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *swirl/ vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga koefisien kerugian *head* yang terjadi semakin besar.

Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Koefisien kerugian *head* adalah perbandingan penurunan tekanan yang diakibatkan oleh kehilangan energi dengan energi kinetik fluida yang dialirkan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kehilangan energi akan mengakibatkan kerugian *head* pada fluida, akibat adanya *losses* ketika fluida melewati belokan. *Losses* yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy/* pusaran ganda).

Aliran fluida yang melewati belokan tanpa *flow conditioner* menghasilkan  $\Delta H$  yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan *vane*, Hal ini terjadi karena intensitas *losses* akan lebih besar karena peluang terbentuknya *vortex* dan *twin eddy* akibat gaya sentrifugal juga

semakin besar. Untuk belokan dengan pemasangan *flow conditioner*,  $\Delta H$  minimum diperoleh dengan pemasangan panjang *vane* sebesar 127 mm jika dibandingkan dengan panjang 95.25 mm dan 63.5 mm. Hal ini disebabkan karena semakin panjang *vane* maka intensitas *twin eddy* dan *vortex* yang dihasilkan juga akan semakin kecil dan profil *twin eddy* yang dihasilkan akan mendekati bentuk lingkaran. *Twin eddy* sendiri berhubungan langsung dengan penurunan tekanan sehingga semakin rendah penurunan tekanan pada belokan, karena pada hilir belokan tekanan yang dihasilkan lebih tinggi, maka *head losses* yang terjadi semakin kecil. Sehingga semakin rendah head losses ( $h$ ) koefisien kerugian head belokan ( $\zeta_{\text{bend}}$ ) semakin mencapai nilai yang rendah;  $\Delta H = \zeta \frac{v^2}{2 \cdot g}$ .



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa pemasangan *flow conditioner* berupa kombinasi *vane*-plat perforasi akan mempengaruhi nilai kerugian *head* aliran fluida pada belokan *elbow*.

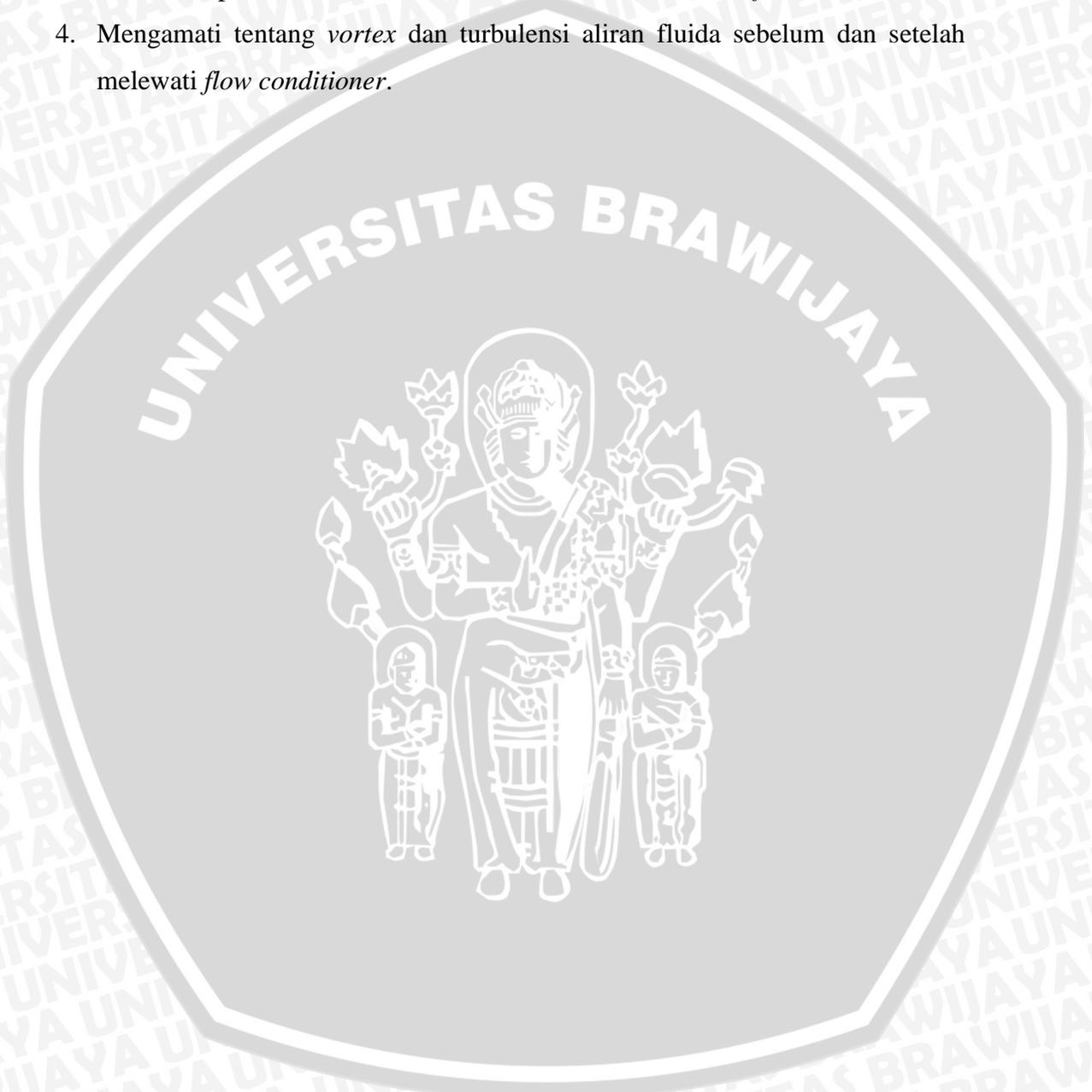
- Semakin panjang *vane* maka kerugian *head* aliran fluida pada *elbow* akan semakin rendah, hal ini disebabkan *twin eddy* yang terbentuk akan mempunyai profil yang mendekati bentuk lingkaran.
- Pemasangan *vane* yang digabung dengan plat perforasi juga akan mempengaruhi nilai koefisien kerugian *head* aliran fluida dimana semakin panjang *vane* maka koefisien kerugian *head* aliran fluida akan semakin rendah.
- Semakin tinggi bilangan *Reynold* maka kerugian *head* aliran fluida pada *elbow* akan semakin tinggi pula.
- Kerugian *head* ( $\Delta H$ ) terendah didapatkan pada *vane* dengan panjang 127 mm, pada bilangan *Reynold* 10688.472 maka  $\Delta H$  yang dihasilkan adalah 0.003 mmH<sub>2</sub>O sedangkan untuk bilangan *Reynold* 19433.573 maka  $\Delta H$  yang dihasilkan adalah 0.016 mmH<sub>2</sub>O.
- Koefisien kerugian *head* ( $\zeta$ ) terendah didapatkan pada *vane* dengan panjang 127 mm, untuk bilangan *Reynold* 10688.472 maka  $\zeta$  yang dihasilkan adalah 0.871 sedangkan untuk bilangan *Reynold* 19433.573 maka  $\zeta$  yang dihasilkan adalah 1.406.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan :

1. Variasi debit yang berbeda atau lebih besar lagi agar dapat diketahui efek dari pemasangan *vane*-plat perforasi tersebut pada debit yang lebih tinggi dari penelitian ini.

2. Letak/ posisi pemasangan *flowconditioner* pada belokan pipa dan susunan *flow conditioner* yang berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap beda tekanan ( $\Delta P$ ) dan kerugian *head* yang lebih rendah.
3. Fluida yang digunakan adalah *compressible* dan perlu adanya analisa tentang visualisasi pola aliran fluida sebelum dan setelah melewati *flow conditioner*
4. Mengamati tentang *vortex* dan turbulensi aliran fluida sebelum dan setelah melewati *flow conditioner*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Daugherty, Robert. L, and Franzini, Joseph. B; 1977: *Fluids Mechanics With Engineering Application* ; Mc Graw Kogakusha, Ltd, Tokyo.
- Fox, Robert. W, and McDonald, Alan . T; 1994: *Introduction To Fluid Mechanics* ; John Wiley & Sons, Inc. Toronto.
- Gallagher, James E; 1996 : *Flow conditioner profile plate for more accurate measurement of fluid flow* ; Jurnal ; US Patent 5529093
- Kegel, Tomas; 1999: *flow meter instalation effects* ; Jurnal ; Colorado Engineering Experiment Station Inc, Colorado
- Potter, Merle.C, and Wiggert, David.C; 1997: *Fluid Mechanics* ; Prentice-Hall Inc, New Jersey
- Lundberg, Don ; 2000. *Effects Of Flow Conditioning On Liquid Measurements* ; Jurnal ; Vortab Company. San Marcos, CA.
- Shao, Ziqiong; 2001: *Numerical and Experimental Evaluation Through Perforated Plates* ; Desertasi tidak diterbitkan; University Rand Afrikaans, Afrika
- Streeter, Victor. L and Wylie, E. Benjamin; 1996: *Mekanika Fluida* ; Mc Graw Hill Book Company, New York
- White, Fank. M.;1999: *Fluid Mechanics* ; Mc Graw Hill Book Company, New York
- Ipung; 2009: *Pengaruh Varisai Peletakan Jarak Tube Bundle Terhadap Kerugian Head Fluida Pada Belokan Pipa* ; Thesis; Universitas Brawijaya, Malang
- Papunastasiou, Tesos, C.; 1993: *Applied Fluid Mechanics* ; Peace Publishers, Moscow
- Witanto, Yovan; 2004: *Pengaruh Perforasi Terhadap Perilaku Vortex Dibelokan Dan Penurunan Tekanan Pada Instalasi Pipa* ; Thesis; Universitas Brawijaya, Malang

<http://www.flowconditioner.com/product/flow.htm> (diakses 10 agustus 2012)

## Lampiran 1

Tabel Properties Air ( *Water* ) dalam satuan SI

Temp, °C	Unit gravity force $\gamma$ , N/m <sup>3</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Viscosity $\mu$ , Pa·s	Kinematic viscosity $\nu$ , m <sup>2</sup> /s $10^6 \nu =$	Surface tension $\sigma$ , 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