

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN PELAT PERFORASI  
1-6-14 TERHADAP PENURUNAN TEKANAN PADA  
BELOKAN PIPA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

**NAIB RAMLI  
NIM. 0510620070-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2010**



## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN PELAT PERFORASI 1-6-14  
TERHADAP PENURUNAN TEKANAN PADA BELOKAN PIPA**

### **SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Disusun oleh :

**NAIB RAMLI  
NIM. 0510620070-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 11 Februari 2010

#### **DOSEN PENGUJI**

Skripsi 1

Skripsi 2

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.  
NIP. 19470330 198002 1 001

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

Komprehensif

Ir. Agustinus Ariseno, MT.  
NIP. 19510822 198701 1 001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN PELAT PERFORASI 1-6-14  
TERHADAP PENURUNAN TEKANAN PADA BELOKAN PIPA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**NAIB RAMLI  
NIM. 0510620070-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.  
NIP. 19541009 198303 1 002**

**Ir. Bardji Hadi Pranoto  
NIP. 19450714 198103 1 003**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: “Pengaruh Variasi Jarak Peletakan Pelat Perforasi 1-6-14 Terhadap Penurunan Tekanan Pada Belokan Pipa” dengan baik, sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Dr.Eng., Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku dosen Pembimbing I atas bantuan dan saran dalam mendampingi penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Ir. Bardji Hadi Pranoto, selaku dosen Pembimbing II yang dengan tulus telah banyak membantu dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak-bapak Dosen Penguji Komprehensif Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan masukan pada penulis.
7. Kedua orang tua saya dan keluarga yang telah memberikan dukungan moral dan material.
8. Rekan dan sahabat seperjuangan: Husein Mukhammad Irsyad & Ringga Murgana Setyadi atas kerjasamanya dalam penulisan skripsi ini.
9. Keluarga besar Mesin 2005, atas semua bantuan dan persaudaraannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu segala saran dan kritikan yang membangun sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik lagi. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Februari 2010

Penulis

## RINGKASAN

NAIB RAMLI, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2010, *Pengaruh Variasi Jarak Peletakan Pelat Perforasi 1-6-14 Terhadap Penurunan Tekanan Pada Belokan Pipa*. Dosen Pembimbing: Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., dan Ir. Bardji Hadi Pranoto.

Pada belokan pipa mempunyai penurunan tekanan (*pressure drop*) yang mengakibatkan kerugian *head*. Penurunan tekanan yang semakin besar pada belokan pipa mengakibatkan kerugian *head* juga semakin besar. Kerugian *head* yang besar ini, berpengaruh pada *head* pompa yang dibutuhkan juga semakin besar untuk mengalirkan fluida pada instalasi pipa. Penurunan tekanan pada belokan pipa dapat diminimalisir dengan pemasangan *flow conditioner* berupa pelat perforasi model 1-6-14. Namun dalam hal ini, akan mempunyai efek yang merugikan yaitu penurunan tekanan yang dihasilkan pada sistem total instalasi pipa menjadi bertambah.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental sungguhan (*True Experimental Research*). Pada penelitian ini digunakan instalasi *Hydraulic Bench* dengan mengatur debit aliran air pada instalasi pipa. Pengujian dilakukan dengan instalasi pipa dan belokan pipa berdiameter 1,25 inchi. Pemasangan *flow conditioner* berupa pelat perforasi model 1-6-14 diletakkan pada hilir belokan pipa dengan variasi jarak peletakan pelat perforasi yang digunakan adalah 2D, 3D, 4D dan 5D dengan tebal pelat perforasi 5 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi pada hilir belokan pipa maka akan menghasilkan *twin-eddy* yang terbentuk berprofil lingkaran dengan nilai parameter *c* (*side ratio*) minimum yang mengakibatkan koefisien kerugian *head* menjadi kecil; hal itu mengakibatkan kerugian *head* semakin sedikit sehingga penurunan tekanan pada belokan pipa menjadi berkurang. Penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) terkecil yaitu 58,71 Pa yaitu pada pemasangan pelat perforasi dengan jarak peletakan 2D pada debit 1000 liter/jam.

**Kata Kunci:** belokan pipa, jarak peletakan, pelat perforasi, penurunan tekanan.

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	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
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Fluida .....	4
2.2.1 Klasifikasi Fluida .....	6
2.2.2 Lapisan Batas / <i>Boundary Layer</i> .....	6
2.2.3 Viskositas .....	7
2.3 Bilangan <i>Reynold</i> .....	8
2.3.1 Aliran Laminer dan Turbulen .....	8
2.3.2 <i>Fully Developed</i> (Berkembang Penuh) .....	9
2.4 Analisis Aliran Fluida dalam Pipa .....	10
2.4.1 Hukum Kontinuitas .....	10
2.4.2 Persamaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Ideal .....	11
2.4.3 Persamaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Real .....	12
2.5 <i>Head Losses</i> .....	13
2.5.1 <i>Major Losses</i> .....	13
2.5.2 <i>Minor Losses</i> .....	14
2.5.3 <i>Minor Losses</i> pada Belokan Pipa .....	14

2.6	<i>Vortex</i> .....	18
2.7	<i>Flow Conditioner</i> .....	19
2.7.1	Pelat Perforasi .....	20
2.7.2	Jenis Pelat Perforasi .....	21
2.8	Hipotesis .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		25
3.1	Metode Penelitian .....	25
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	25
3.3	Variabel Penelitian .....	25
3.4	Peralatan dan Bahan Penelitian .....	25
3.5	Prosedur Penelitian .....	28
3.6	Instalasi Penelitian .....	29
3.7	Metode Pengambilan Data .....	30
3.8	Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		32
4.1	Pengolahan Data .....	32
4.2	Data Hasil Perhitungan .....	34
4.3	Analisis Grafik Hubungan Jarak Peletakan terhadap Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa .....	37
4.4	Analisis Grafik Hubungan Jarak Peletakan terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i> (K) pada Belokan Pipa .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		42
5.1	Kesimpulan .....	42
5.2	Saran .....	42

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perubahan bentuk yang diakibatkan oleh penerapan gaya geser yang konstan .....	5
Gambar 2.2	Struktur <i>Bondary Layer</i> .....	7
Gambar 2.3	Aliran laminar .....	9
Gambar 2.4	Aliran turbulen .....	9
Gambar 2.5	<i>Fully Developed</i> .....	10
Gambar 2.6	Aliran <i>steady</i> dalam pipa .....	11
Gambar 2.7	Bentuk-bentuk lokal saluran .....	14
Gambar 2.8	Aliran sekunder pada belokan pipa .....	15
Gambar 2.9	Belokan siku .....	15
Gambar 2.10	Profil aliran melewati belokan .....	16
Gambar 2.11	Profil aliran melewati belokan circular 90° .....	16
Gambar 2.12	Grafik hubungan ( $\frac{R}{d}$ ) terhadap nilai a .....	17
Gambar 2.13	Grafik hubungan ( $\delta$ ) terhadap nilai b .....	17
Gambar 2.14	Grafik hubungan ( $\frac{e}{d}$ ) terhadap nilai c .....	18
Gambar 2.15	Geometri <i>vortex</i> menurut besar bilangan <i>reynold</i> .....	19
Gambar 2.16	<i>Vortex</i> 2 dimensi .....	19
Gambar 2.17	Pelat perforasi .....	21
Gambar 2.18	Aliran fluida yang melalui pelat perforasi .....	21
Gambar 2.19	<i>MHI (Mitsubishi Heavy Industries) Conditioner</i> .....	22
Gambar 2.20	<i>The Sparmen (NEL) Conditioner</i> .....	22
Gambar 2.21	<i>The Laws Conditioner</i> .....	23
Gambar 3.1	Rotameter .....	26
Gambar 3.2	Manometer defleksi .....	27
Gambar 3.3	Geometri pelat perforasi 1-6-14 .....	28
Gambar 3.4	Skema peletakan pelat perforasi 1-6-14 .....	28
Gambar 3.5	Instalasi uji .....	29
Gambar 3.6	Diagram alir .....	31

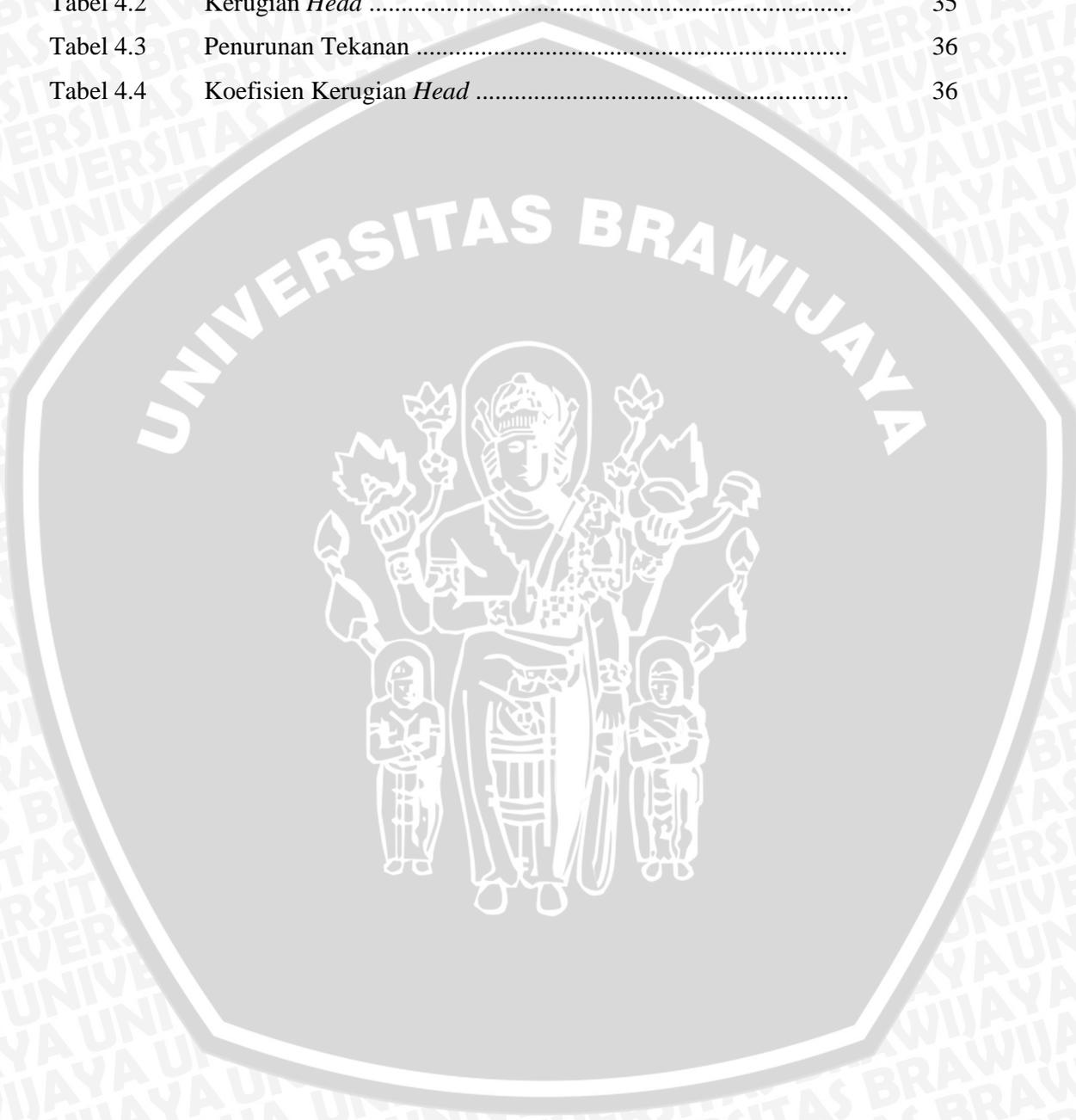
Gambar 4.1 Grafik hubungan jarak peletakan terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa ..... 37

Gambar 4.2 Grafik hubungan jarak peletakan terhadap koefisien kerugian *head* pada belokan pipa ..... 39



### DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Debit, Kecepatan dan Bilangan <i>Reynold</i> .....	35
Tabel 4.2	Kerugian <i>Head</i> .....	35
Tabel 4.3	Penurunan Tekanan .....	36
Tabel 4.4	Koefisien Kerugian <i>Head</i> .....	36



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel Properties Air ( <i>Water</i> ) dalam satuan SI
Lampiran 2	Tabel Hasil Pengambilan Data dalam cm kolom air
Lampiran 3	Tabel Penurunan Tekanan ( $\Delta P$ ) / Beda Tekanan dalam Pa
Lampiran 4	Tabel Koefisien Kerugian <i>Head</i> ( <i>K</i> )



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ilmu rekayasa tentang mekanika fluida telah dikembangkan melalui pemahaman mengenai sifat-sifat fluida, baik itu fluida *incompressible* maupun *compressible*. Proses-proses dalam perindustrian yang berhubungan dengan aliran fluida, tidak akan lepas dari instalasi perpipaan. Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam mengamati aliran fluida dalam instalasi perpipaan. Kegiatan penelitian perlu dilakukan untuk mendapatkan instalasi perpipaan yang lebih efisien, sehingga kerugian-kerugiannya dapat diminimalkan (sekecil mungkin).

Pipa pada sistem instalasi fluida mempunyai peranan yang penting, mulai dari rumah tangga sampai pada sektor-sektor industri, seperti penyulingan minyak bumi, proses kimiawi dan pengolahan limbah. Fungsi utama pipa adalah mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lain baik dalam bentuk cair, gas, maupun dalam bentuk massa yang terfluidisasi (Wardana, 2000). Dimana dalam menjalankan fungsinya seringkali tidak dapat dipisahkan dari penggunaan belokan sebagai pengatur arah aliran fluida yang melewati fluida. Namun dalam mengalirkan fluida pada instalasi pipa terdapat kerugian energi berupa penurunan tekanan (*pressure drop*) akibat adanya *major losses* pada pipa lurus dan *minor losses* pada belokan, katup, ataupun pada sambungan pipa.

Penurunan tekanan pada belokan pipa mempunyai kerugian *head* yang lebih besar daripada kerugian akibat gesekan, hal itu disebabkan karena adanya pemisahan aliran pada dinding dan aliran sekunder yang berpusar (White, 1991). Aliran sekunder (*twin-eddy*) disebabkan oleh adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada tiap partikel fluida ketika fluida itu melewati belokan sehingga mempengaruhi keseragaman distribusi kecepatan. Penurunan tekanan yang semakin besar pada belokan pipa mengakibatkan kerugian *head* juga semakin besar (Nekrasov, 1960). Kerugian *head* yang besar maka *head* pompa yang dibutuhkan juga semakin besar. Karena *head* pompa berkaitan dengan daya pompa yaitu energi per satuan waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida pada sistem total instalasi keseluruhan pipa.

Pelat perforasi adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran / *flow conditioner* yang berfungsi untuk mengurangi separasi dan *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup / *valve*, belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa (Shao, 2001). Dalam hal

ini, sebenarnya pelat perforasi bertujuan untuk mengkondisikan aliran fluida agar diinginkan aliran yang setelah melewati pelat perforasi menjadi aliran yang berkembang penuh (*fully developed*). Selain itu dengan adanya pelat perforasi pada sisi keluaran belokan pipa, aliran fluida yang diinginkan akan lebih berpeluang terbentuknya *twin-eddy* berprofil lingkaran pada belokan pipa yang merupakan salah satu faktor utama penentu besar koefisien kerugian *head*. Oleh karena itu dalam penelitian ini, perlu diteliti berapa besar penurunan tekanan yang terjadi pada belokan pipa yang berakibat pada besarnya kerugian *head*, yaitu dengan pemasangan suatu alat pengkondisi aliran berupa pelat perforasi (*perforated plate*) dengan jarak tertentu dari sisi keluaran / hilir belokan pipa.

Dari uraian diatas maka penulis melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui berapa besar bertambahnya atau berkurangnya penurunan tekanan yang terjadi pada belokan pipa dan untuk menghasilkan kondisi aliran fluida yang berkembang penuh (*fully developed*). Namun dalam hal ini akan mempunyai efek yang merugikan yaitu penurunan tekanan yang dihasilkan pada sistem total instalasi pipa menjadi bertambah. Dengan kata lain untuk menghasilkan kondisi tersebut maka diperlukan pengorbanan berupa penurunan tekanan yang besar pada sistem total instalasi pipa yang mengakibatkan kerugian *head* juga semakin besar.

Dan juga tujuan penulis melakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak peletakan pelat perforasi terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa, serta penurunan tekanan sebelum dan sesudah pemasangan pelat perforasi pada belokan pipa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak peletakan pelat perforasi 1-6-14 terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa?

## 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. Belokan (*knee*) yang digunakan adalah PVC dengan diameter 1,25 inchi.
3. Penurunan tekanan yang diteliti adalah pada belokan pipa dan pelat perforasi.

4. Pelat perforasi yang digunakan dari bahan akrilik (*acrylic*) dan tebalnya 5 mm.
5. Pelat perforasi yang digunakan adalah tipe *Laws Conditioner* model *1-6-14*.
6. Pelat perforasi model *1-6-14* divariasikan letaknya sejauh 2D, 3D, 4D, dan 5D setelah belokan pipa.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi jarak peletakan pelat perforasi *1-6-14* terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan kontribusi bagi penelitian mahasiswa Teknik Mesin Universitas Brawijaya pada khususnya sehingga penelitian ini dapat menjadi tolak ukur penelitian berikutnya.
2. Dapat menambah khasanah penelitian bagi dunia ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan Teknik Mesin khususnya tentang aliran fluida.
3. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan menjadi sebuah teknologi khususnya dalam bidang instalasi perpipaan yang dapat berguna bagi masyarakat.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Shao (2001), dalam penelitiannya dijelaskan bahwa porositas dan jumlah lubang dari *perforated plate flow conditioner* dapat mempengaruhi *performance* dari pelat perforasi. Penelitian dilakukan pada pipa lurus dimana pelat perforasi diletakkan pada pipa lurus tersebut dan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) diukur pada sebelum dan sesudah melewati pelat perforasi. Dalam penelitiannya yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen dijelaskan pula bahwa pelat dengan jumlah lubang 22 buah dengan perforasi 50% akan menghasilkan aliran yang *fully developed* dan *losses* yang kecil.

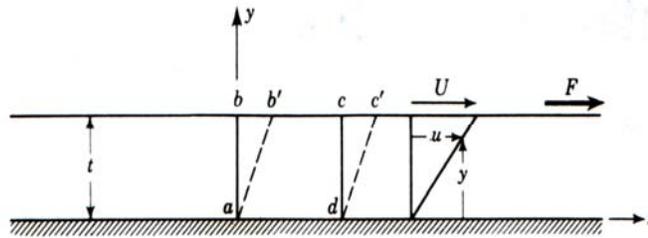
Witanto (2004), dalam penelitiannya; dilakukan pada belokan pipa dimana pada dinding pipa sebelum belokan pipa dibuat perforasi (lubang-lubang) dengan variasi lubang perforasi. Dalam hal ini mempelajari pengaruh aliran radial yang keluar melalui lubang-lubang kecil pada dinding pipa (perforasi) terhadap perilaku *vortex* di belokan dan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) total pada instalasi pipa. Penelitian ini bertujuan untuk 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.

Muntaha (2004), dalam penelitiannya; dilakukan pada belokan pipa dimana pada belokan pipa tersebut diletakkan sudu pengarah yang terbuat dari mika dengan bentuk melengkung mengikuti kontur belokan pipa. Beda tekanan diukur pada bagian hulu dan hilir belokan pipa. Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin banyak jumlah sudu pengarah yang diletakkan pada belokan pipa maka *vortex* dan aliran sekunder yang terjadi semakin berkurang sehingga penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) dan koefisien kerugian *head*-nya semakin kecil.

### 2.2 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, dan Wylie, 1996 : 3).



Gambar 2.1. Perubahan bentuk yang diakibatkan oleh penerapan gaya geser yang konstan.

Sumber: Streeter, dan Wylie, 1996 : 4

Pada gambar 2.1 diatas terlihat bahwa suatu zat yang ditempatkan di antara 2 pelat diam yang sejajar dengan jarak yang kecil (t) dan sedemikian luasnya sehingga pada keadaan tepi-tepinya dapat diabaikan. Apabila pelat bagian atas bergerak dengan kecepatan U yang disebabkan adanya gaya F berapapun kecilnya terhadap suatu luasan A maka dapat disimpulkan bahwa zat diantara pelat tersebut adalah suatu fluida yang sedang mengalami pergerakan dengan kecepatan tertentu dan ditandai perubahan bentuk dari fluida tersebut di sepanjang saluran.

Dari percobaan sebelumnya menunjukkan bahwa F berbanding lurus dengan A serta dengan U, dan berbanding terbalik dengan tebal t, dengan besaran lainnya dipertahankan konstan yang dinyatakan dengan persamaan:

$$F = \mu \cdot \frac{AU}{t} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 4}) \quad (2-1)$$

dengan:

F = Gaya yang menyebabkan pelat atas bergerak

$\mu$  = Faktor kesebandingan dan pengaruh fluida yang bersangkutan tercakup didalamnya.

U = Kecepatan pelat

A = Luas pelat (luas bidang geser)

t = tebal lapisan fluida

Apabila tegangan geser  $\tau = F/A$ , maka diperoleh persamaan:

$$\tau = \mu \frac{U}{t} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 4}) \quad (2-2)$$

Kecepatan sudut  $U/t$  adalah kecepatan sudut garis  $ab$  yang merupakan laju berkurangnya sudut ( $b-a-d$ ) yang dapat juga ditulis  $du/dy$  karena menyatakan hal yang sama, sehingga didapat persamaan:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 :4}) \quad (2-3)$$

dengan:

$\tau$  = Tegangan geser

$\mu$  = Faktor kesebandingan dan pengaruh fluida yang bersangkutan tercakup didalamnya

$du/dy$  = Gradien kecepatan

Bentuk diferensial diatas adalah hubungan antara tegangan geser dan laju perubahan bentuk sudut untuk aliran satu dimensi. Faktor kesebandingan  $\mu$  disebut viskositas dan persamaan (2-3) diatas adalah hukum *Newton* untuk aliran fluida.

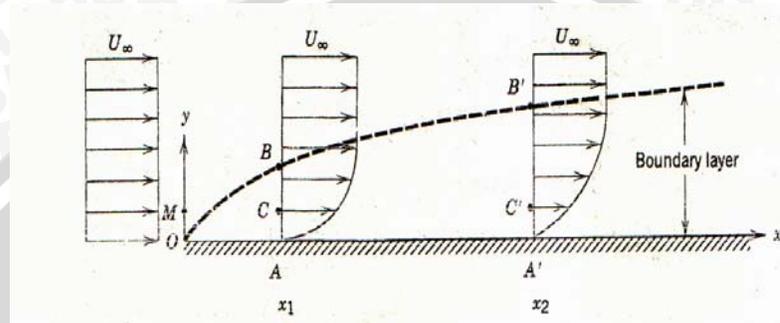
### 2.2.1 Klasifikasi Fluida

Klasifikasi fluida menurut Daugherty, Robert L. (1989 : 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; sedangkan contoh fluida mampu mampat adalah gas.

### 2.2.2 Lapisan Batas / *Boudary Layer*

Pada aliran fluida aktual / *viscous* yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida masih dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada permukaan benda, kecepatan aliran adalah nol dan semakin bertambah hingga mendekati kecepatan aliran utama (kecepatan fluida didalam 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. Pada fluida yang mengalir didalam pipa, terjadi lapisan batas dimana pada lapisan tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak dari dinding pipa sehingga terjadi gradien kecepatan dan mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida viscous karena besarnya tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan.



Gambar 2.2. Struktur *Boundary Layer*  
Sumber: White, 1991 : 142

Pada gambar 2.2 terlihat ketika berada pada O fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Ketika fluida melewati A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding sehingga terjadi gradien kecepatan. Pengurangan kecepatan semakin besar seiring semakin jauh fluida mengalir pada dinding pipa, sehingga ketika fluida pada jarak A' pengaruh gaya dinding pun semakin besar yang ditunjukkan dengan semakin besarnya gradien kecepatan aliran.

### 2.2.3 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. Hukum Viskositas *Newton* menyatakan bahwa, laju perubahan bentuk suatu fluida tertentu merupakan fungsi dari tegangan geser dan viskositas. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu viskositas dinamik dan viskositas kinematik. Viskositas dinamik ( $\mu$ ) adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser / gaya-gaya yang bekerja padanya., sedangkan viskositas kinematik ( $\nu$ ) adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Secara matematis dinyatakan sebagai:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Potter, dan Wiggert, 1997 : 260}) \quad (2-4)$$

### 2.3 Bilangan Reynold

Bilangan *Reynold* adalah suatu bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan energi kinetik fluida dengan energi karena efek gesekan fluida akibat viskositas. Bilangan *Reynold* merupakan parameter berupa suatu perbandingan kecepatan aliran, dan ukuran yang mewakili diameter penampang yang dilewati aliran fluida terhadap viskositas fluida. Bilangan *Reynold* membedakan resim aliran seperti aliran laminer, transisi atau turbulen dilapisan batas atau didalam pipa atau disekitar benda yang terendam.

Persamaan bilangan *Reynold* untuk aliran didalam pipa adalah:

$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{V.D}{\nu} \quad (\text{Potter, dan Wiggert, 1997 : 260}) \quad (2-5)$$

dengan:

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

$D$  = diameter pipa (m)

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

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

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

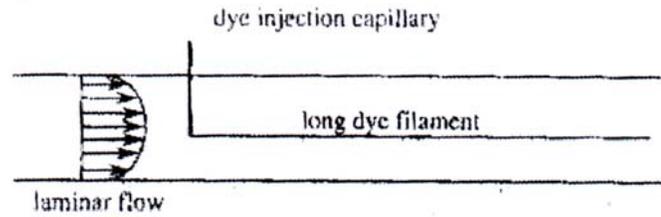
Bilangan *Reynold* juga dapat digunakan untuk membedakan jenis aliran laminer atau turbulen.

#### 2.3.1 Aliran Laminer dan Turbulen

Berdasarkan karakteristik struktur internal aliran, aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminer dan turbulen.

##### 1. Aliran Laminer

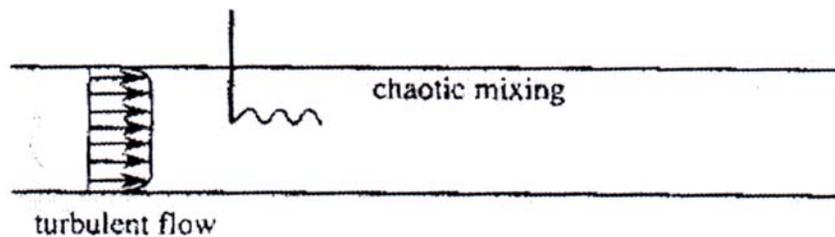
Aliran laminer adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan (lamina-lamina) membentuk garis-garis alir yang tidak berpotongan satu sama lain. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan Osborne Reynold. Pada laju aliran rendah, aliran laminer tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.3. Aliran ini mempunyai angka *Reynold* lebih kecil dari 2300.



Gambar 2.3. Aliran laminar  
Sumber: Papanastasiou, 1993 : 26

## 2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida dimana partikel-partikel fluida bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi sehingga garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Oleh Osborne Reynold digambarkan sebagai bentuk yang tidak stabil yang bercampur dalam waktu cepat yang selanjutnya memecah dan menjadi tidak terlihat sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.4. Aliran ini mempunyai angka *Reynold* yang lebih besar dari 4000.



Gambar 2.4. Aliran turbulen  
Sumber: Papanastasiou, 1993 : 26

### 2.3.2 Fully Developed (Berkembang Penuh)

Pada gambar 2.5 dibawah disaat 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. Pengurangan kecepatan terjadi seiring pertambahan jarak aliran fluida tersebut melewati pipa dan terbentuk lapisan batas yang dikarenakan pengaruh gaya dinding pipa. Semakin jauh jarak tempuh fluida maka semakin kecil gradien kecepatan yang terjadi. Saat aliran fluida mencapai jarak yang mencukupi, lapisan batas akan mengembang dan mencapai garis pusat pipa serta aliran seluruhnya akan 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 tersebut dinamakan dengan aliran *fully developed*. 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* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Fox, dan McDonald, 1994 : 305} \quad (2-6)$$

dengan:

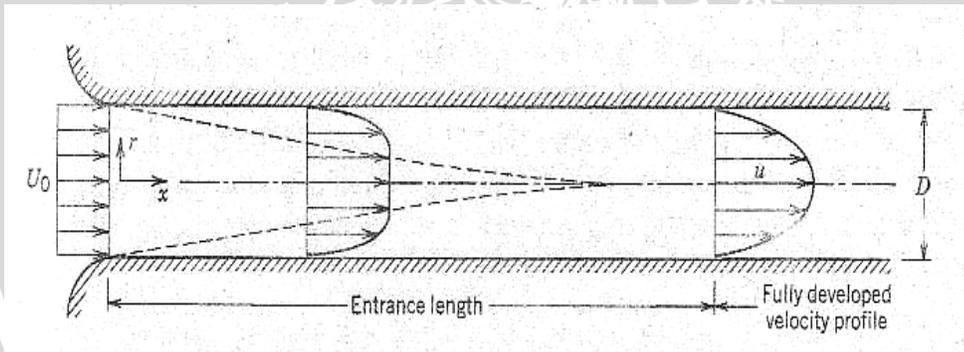
$L$  = Entrance length (m)

$D$  = Diameter pipa (m)

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

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

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

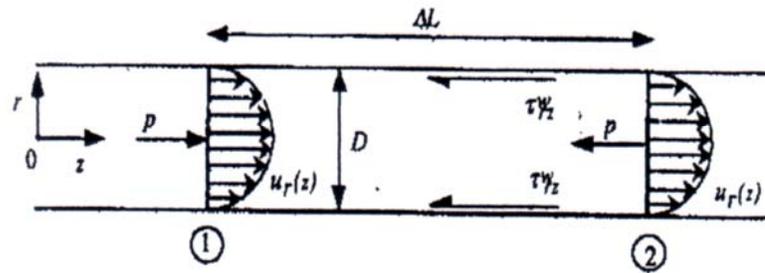


Gambar 2.5. *Fully Developed*  
Sumber: Fox, dan McDonald, 1994 : 306

## 2.4 Analisis Aliran Fluida dalam Pipa

Aliran fluida didalam pipa tidak akan terlepas dari Hukum Kontinuitas dan Hukum *Bernoulli*.

### 2.4.1 Hukum Kontinuitas



Gambar 2.6. Aliran *steady* dalam pipa  
 Sumber: Papanastasiou, 1993 : 140

Berdasarkan gambar 2.6 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 (Streeter, dan Wylie, 1996 : 94).

$$m_1 = m_2 = \text{kons tan}$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2$$

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:

$$Q_1 = A_1 \cdot V_1 = Q_2 = A_2 \cdot V_2 \quad \text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 95} \quad (2-7)$$

dengan:

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

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

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

### 2.4.2 Persamaan *Bernoulli* untuk Fluida Ideal

Dalam mendapatkan persamaan *Bernoulli* terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan yaitu alirannya tidak mengalami perubahan kecepatan (*steady*), tanpa gesekan antara fluida dengan permukaan saluran atau pipa, tak mampu mampat (*incompressible*), dan massa jenis fluida ( $\rho$ ) konstan.

$$W = m \cdot g \cdot Z + m \cdot \frac{P}{\rho} + m \cdot \frac{V^2}{2} = \text{kons tan} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 4}) \quad (2-8)$$

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

$$W = g.Z + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{kons tan} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 4}) \quad (2-9)$$

Apabila persamaan tersebut dibagi lagi dengan percepatan gravitasi  $g$ , maka akan didapat salah satu ruas dari persamaan *bernoulli* yang mempunyai arti ketinggian.

Persamaan ketinggiannya yaitu:

$$H = Z + \frac{P}{\rho.g} + \frac{V^2}{2.g} = \text{kons tan} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 4}) \quad (2-10)$$

Jadi sesuai dengan persamaan ketinggian diatas dapat dijelaskan bahwa pada tiap saat dan tiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran fluida didalam pipa tanpa gesekan yang tidak bergerak maka akan mempunyai energi ketinggian tempat, tekanan dan kecepatan yang sama besarnya. Sebagai contoh aliran air didalam pipa, pada posisi 1 kg air mempunyai tekanan tertentu dan luas penampang yang tertentu pula serta kecepatan  $V_1$ .

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho.g} + \frac{V_1^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho.g} + \frac{V_2^2}{2.g} \quad (\text{Streeter, dan Wylie, 1996 : 4}) \quad (2-11)$$

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  $Z_1 = Z_2$ .

### 2.4.3 Persamaan *Bernoulli* untuk Fluida Real

Untuk aliran fluida didalam pipa, fluida memiliki viskositas yang menyebabkan distribusi kecepatan pada penampang melintang saluran tidak seragam dan mengakibatkan kehilangan energi (*head losses*). Akibatnya total energi yang dimiliki fluida tidak konstan. Untuk itu dalam persamaan *Bernoulli* turut mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi didalam persamaan tersebut. Dengan begitu persamaan *Bernoulli* menggambarkan hukum kesetimbangan energi.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho.g} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho.g} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{\rho.g} + \sum h \quad (\text{Nekrasov, 1960 : 59}) \quad (2-12)$$

## 2.5 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*.

Sedangkan definisi *head* adalah tingkat energi atau dengan istilah lain *head* adalah energi spesifik; yang dapat dinyatakan sebagai: satuan untuk energi pompa per satuan berat fluida yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (2-13)$$

dengan

$$\Delta H = \text{Kerugian head atau head losses} \quad (m)$$

$$\Delta P = \text{Penurunan tekanan atau beda tekanan} \quad (N/m^2)$$

$$\gamma = \text{Berat jenis / spesifik fluida} \quad (N/m^3)$$

$$\gamma = \rho_{\text{water}} \cdot g$$

keterangan

$$\rho_{\text{water}} = \text{Densitas / massa jenis fluida air} \quad (Kg/m^3)$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi} \quad (m/s^2)$$

### 2.5.1 Major 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:

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Nekrasov, 1960 : 62}) \quad (2-14)$$

dengan:

$$h = \text{major losses} \quad (m)$$

$$\lambda = \text{faktor gesek}$$

$$l = \text{panjang pipa} \quad (m)$$

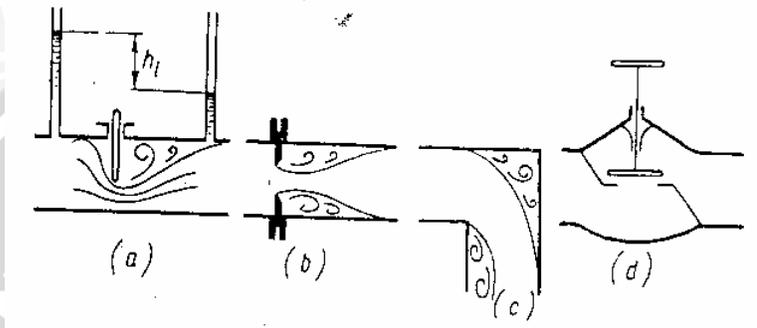
$$d = \text{diameter pipa} \quad (m)$$

$$V = \text{kecepatan fluida} \quad (m/s)$$

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

### 2.5.2 Minor Losses

*Minor losses* adalah energi yang hilang dari fluida disebabkan oleh bentuk lokal dari saluran, seperti perubahan luas panampang, katup, belokan, *orifice* dan lain-lain. *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, 1960 : 61

Rumusan untuk *minor losses* menurut Weisbach:

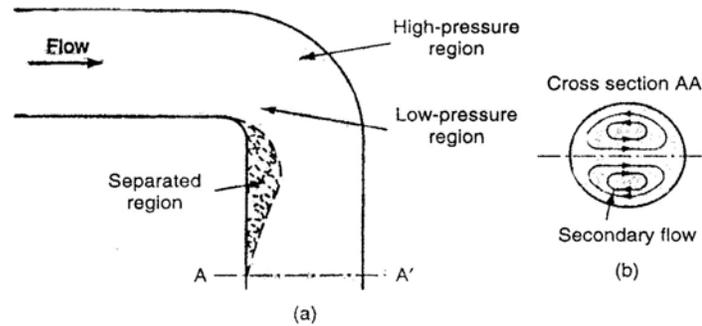
$$h = \zeta_{\text{bend}} \cdot \frac{V^2}{2.g} \quad (\text{Nekrasov, 1960 : 61}) \quad (2-15)$$

dengan:

- $\zeta_{\text{bend}}$  = koefisien kerugian *minor losses*
- $V$  = kecepatan fluida ( $m/s$ )
- $g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

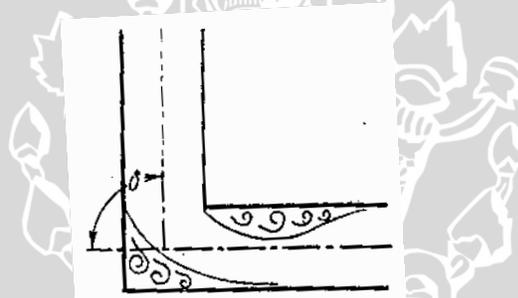
### 2.5.3 Minor Losses pada Belokan Pipa

Belokan pipa mempunyai koefisien kerugian (*loss coefficient*) yang cukup besar karena penurunan tekanan yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus untuk panjang pipa yang sama. Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang memunculkan aliran sekunder / pusaran ganda (Fox, dan Mc Donald). Pusaran ganda (*twin-eddy*) tersebut memicu terbentuknya *vortex*, seperti yang terlihat pada gambar 2.8 sehingga menyebabkan beda tekanan pada belokan akan lebih besar.



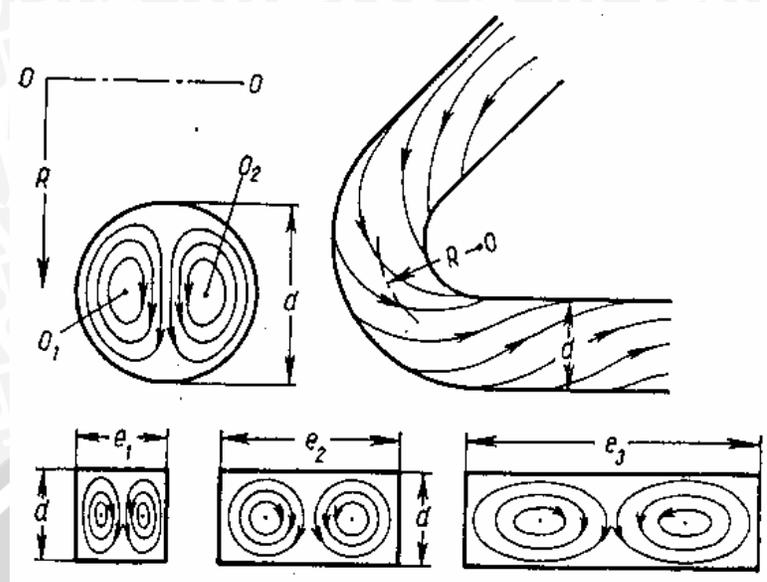
Gambar 2.8. Aliran sekunder pada belokan pipa  
Sumber: Potter, dan Wiggert, 1997 : 304

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 2.9. Belokan siku  
Sumber: Nekrasov, 1960 : 118

*Losses* yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twineddy* / pusaran ganda). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida. 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. Profil aliran melewati belokan  
 Sumber: Nekrasov, 1960 : 117



Gambar 2.11. Profil aliran melewati belokan circular 90°  
 Sumber: www.youtube-kolanko.com

Untuk menentukan besarnya *minor losses* pada belokan, koefisien kerugian pada belokan ( $\zeta_{\text{bend}}$ ) harus dicari. Rumusan *minor losses* menurut Weisbach sesuai persamaan 2-15.

Koefisien kerugian belokan tergantung pada rasio jari-jari belokan terhadap diameter pipa  $\left(\frac{R}{d}\right)$  atau bisa disebut radius belokan relatif, sudut belokan ( $\delta$ ) dan bentuk penampang pipa (Nekrasov, 1960 : 114).

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

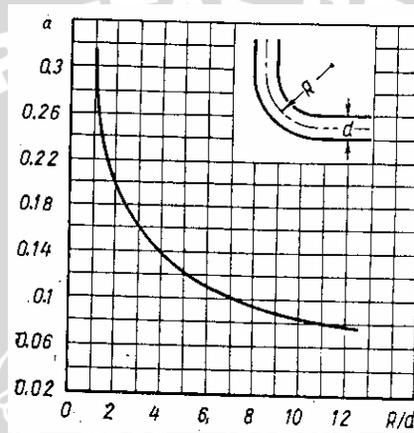
$$\zeta_{\text{bend}} = 0,73 a.b.c \quad (\text{Nekrasov, 1960 : 141}) \quad (2-16)$$

dengan:

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

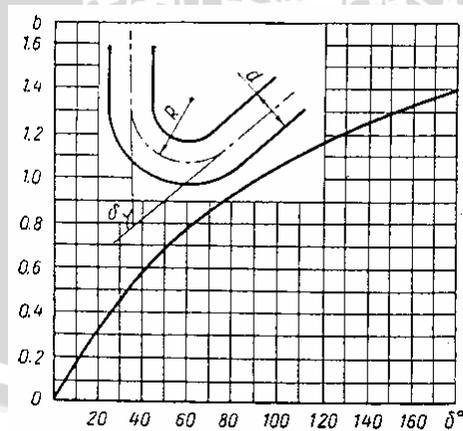
$b$  = fungsi dari sudut belokan  $(\delta)$

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



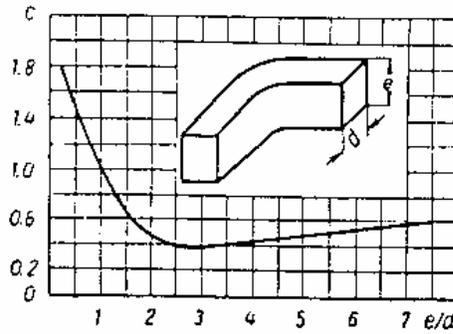
Gambar 2.12. Grafik hubungan  $\left(\frac{R}{d}\right)$  terhadap nilai  $a$

Sumber: Nekrasov, 1960 : 115



Gambar 2.13. Grafik hubungan  $(\delta)$  terhadap nilai  $b$

Sumber: Nekrasov, 1960 : 116



Gambar 2.14. Grafik hubungan ( $\frac{e}{d}$ ) terhadap nilai  $c$

Sumber: Nekrasov, 1960 : 116

Energi yang hilang berupa penurunan tekanan juga dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = K \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{Potter, dan Wiggert, 1997 : 303}) \quad (2-17)$$

dengan:

$\Delta P$  = Penurunan tekanan (N/m<sup>2</sup>)

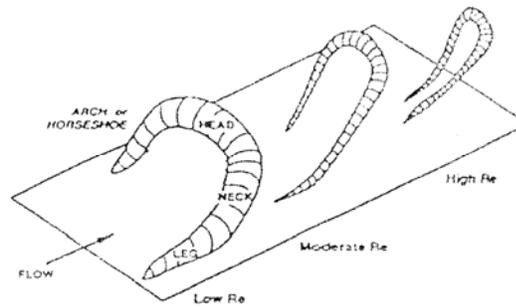
$\rho$  = Massa jenis fluida / Densitas (Kg/m<sup>3</sup>)

$K$  = Koefisien kerugian *head*

$V$  = Kecepatan fluida (m/s)

## 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. 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 2.15. Geometri *vortex* menurut besar bilangan *reynold*  
 Sumber: Steven, K. Robinson, 1991 : 607



Gambar 2.16. *Vortex* 2 dimensi  
 Sumber: [www.youtube-Re3600norm.com](http://www.youtube-Re3600norm.com)

## 2.7 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 dapat mencapai kondisi aliran berkembang penuh (*fully developed*) lebih cepat dengan menempuh panjang pipa lurus yang lebih pendek.

Karena *flow conditioner* dapat menghilangkan *swirl* atau *vortex*, yang merupakan penyebab hilangnya energi pada aliran, yang menghasilkan *pressure drop*, maka pemasangan *flow conditioner* dapat meminimalisasi *pressure drop* yang terjadi pada aliran ketika aliran melewati belokan, katup, perubahan luas penampang, *orifice*

dan lain-lain. 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.

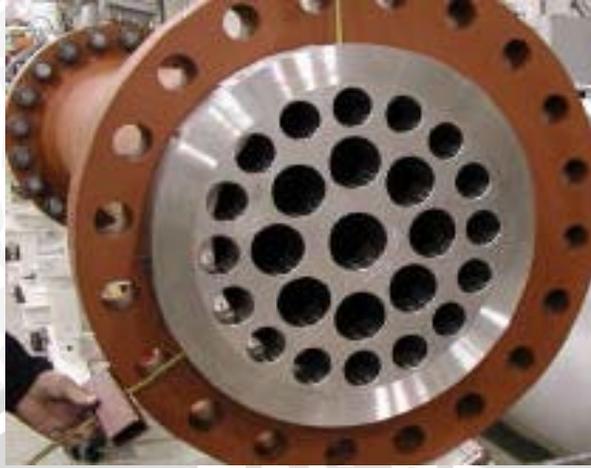
$$\text{Efisiensi } flow \text{ conditioner} = \frac{\text{pressuredropkarenaalat}}{\text{pressuredrop tan paalat}}$$

$$(\eta) = \frac{\Delta P_{12}(\text{denganalat})}{\Delta P_{12}(\text{tan paalat})}$$

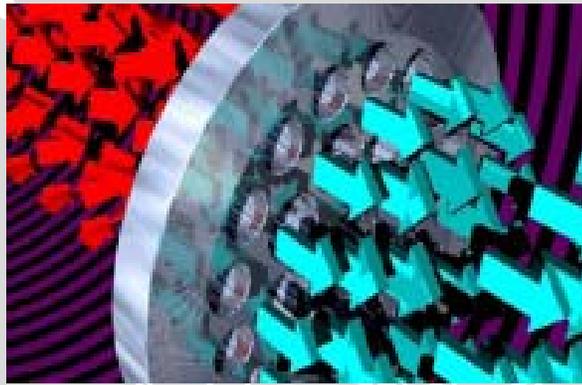
Ada beberapa *flow conditioner* yang sering digunakan yaitu, *tube bundle*, *honey comb*, *vane*, pelat perforasi dan lain-lain. Pada penelitian ini jenis *flow conditioner* yang dipakai adalah pelat perforasi.

### 2.7.1 Pelat Perforasi

Pelat Perforasi adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran / *flow conditioner* yang berfungsi untuk mengurangi separasi dan *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup / *valve*, belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa (Shao, 2001 : 1). Pelat perforasi banyak digunakan dalam industri perpipaan gas, minyak, dan industri kimia dalam usaha untuk mengurangi terjadinya separasi, dimana separasi ini berpotensi menyebabkan terjadinya *vortex*, getaran, kavitasi dan kebisingan aliran fluida serta penurunan tekanan pada belokan pipa. Pelat perforasi dapat menahan kecepatan aliran yang tinggi saat melewati belokan sehingga separasi dan aliran sekunder dapat dikurangi, disamping itu dengan adanya pelat perforasi aliran akan seragam dan akan cepat mantap.



Gambar 2.17. Pelat perforasi  
Sumber: [www.cpacl.com](http://www.cpacl.com)



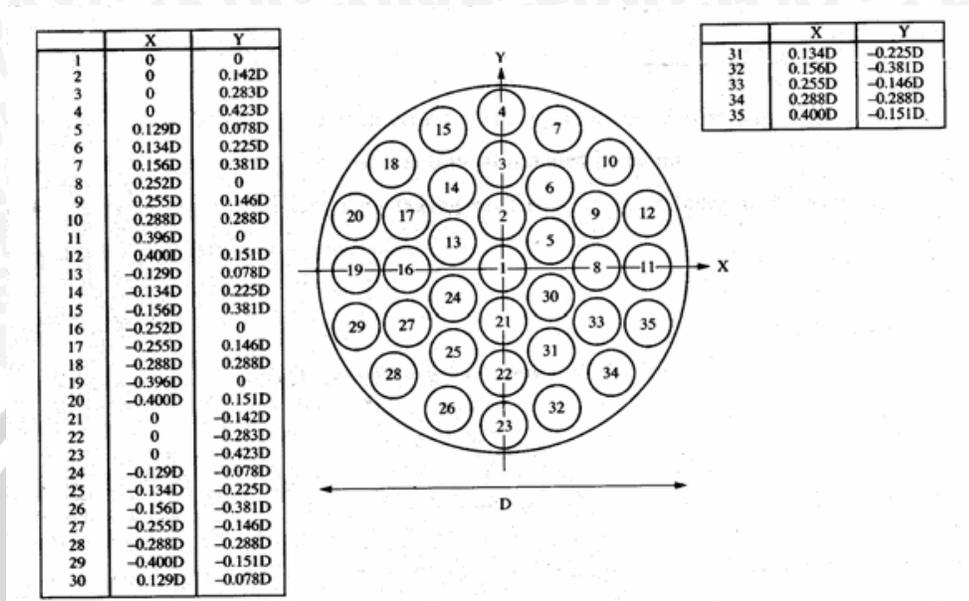
Gambar 2.18. Aliran fluida yang melalui pelat perforasi  
Sumber: [www.flowconditioner.com/products/flows.html](http://www.flowconditioner.com/products/flows.html)

Gambar 2.18 menunjukkan aliran fluida yang melalui pelat perforasi dimana dari simulasi aliran diatas dapat dilihat bahwa fluida setelah melewati pelat perforasi efek *vortex* / pusaran menjadi berkurang / hilang, ditunjukkan dengan profil aliran yang laminar dimana garis-garis aliran fluida tidak berpotongan satu sama lain.

### 2.7.2 Jenis Pelat Perforasi

Pelat perforasi (*perforated plate*) bermacam-macam jenisnya. Jenis pelat perforasi yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

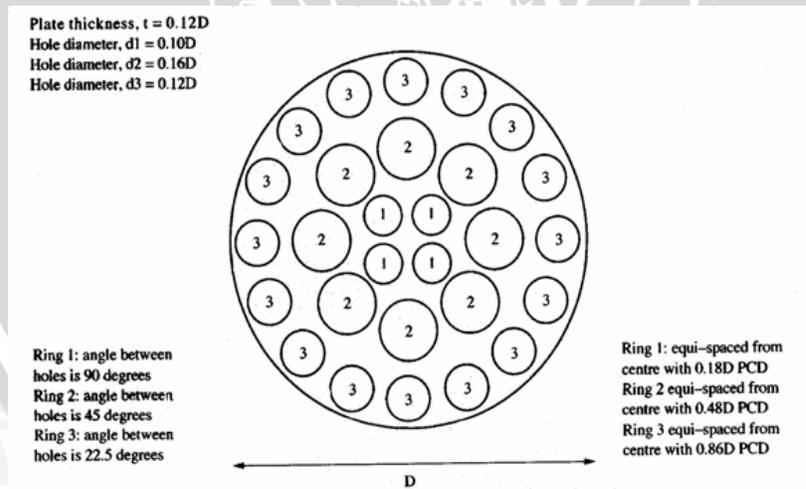
1. *MHI (Mitsubishi Heavy Industries) Conditioner*



Gambar 2.19. *MHI (Mitsubishi Heavy Industries) Conditioner*

Sumber: Shao, 2001 : 22

2. *The Sparmen (NEL) Conditioner*

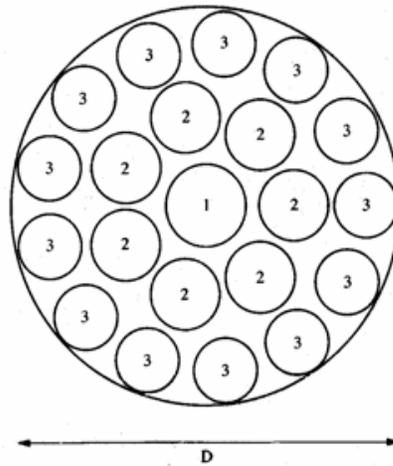


Gambar 2.20. *The Sparmen (NEL) Conditioner*

Sumber: Shao, 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 2.21. *The Laws Conditioner*  
 Sumber: Shao, 2001 : 22

Geometri dari pelat perforasi tipe *Laws* berdasarkan teori *Elder* (Shao, 2001 : 27) yaitu:

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

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

$$d_3 = 0,734 \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{m}} \cdot D$$

dengan:

$n$  = 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.

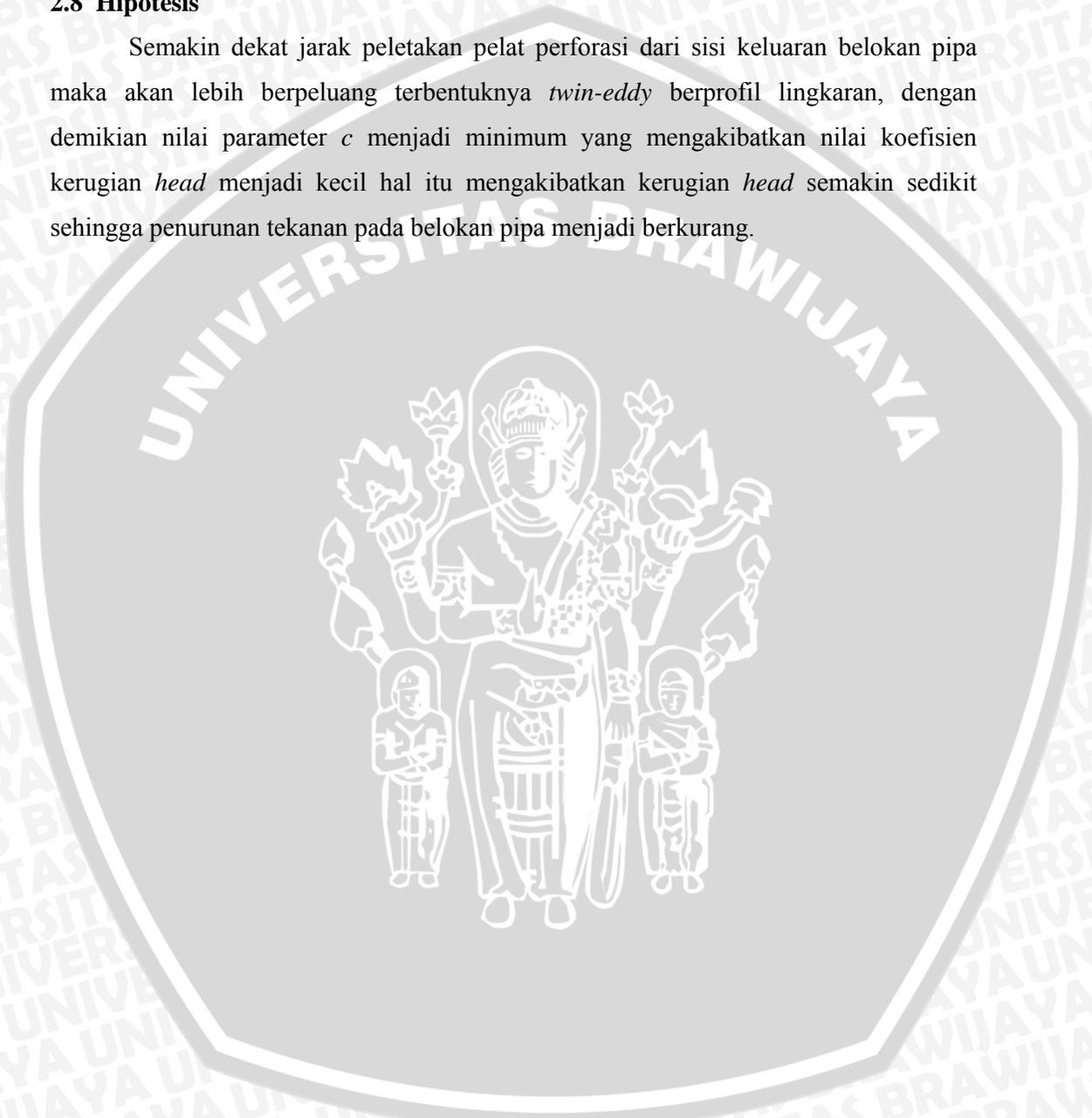
$\alpha$  = Porositas (%)

Pelat perforasi tipe *The Laws Conditioner* memiliki beberapa keuntungan diantaranya: pembuatan lebih mudah, *pressure loss* yang lebih kecil, dan dapat menghasilkan aliran yang lebih mantap / berkembang penuh (*fully developed*) daripada

jenis pelat perforasi yang lainnya (Shao, 2001 : 28). Oleh karena itu fokus dalam penelitian ini adalah membahas pelat perforasi jenis *The Laws Conditioner* dengan tipe 1-6-14.

## 2.8 Hipotesis

Semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi dari sisi keluaran belokan pipa maka akan lebih berpeluang terbentuknya *twin-eddy* berprofil lingkaran, dengan demikian nilai parameter  $c$  menjadi minimum yang mengakibatkan nilai koefisien kerugian *head* menjadi kecil hal itu mengakibatkan kerugian *head* semakin sedikit sehingga penurunan tekanan pada belokan pipa menjadi berkurang.



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental sungguhan (*True Experimental Research*), yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab-akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris. Dalam hal ini obyek penelitian yang diamati adalah pengaruh jarak peletakan pelat perforasi terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tanggal 21-22 Desember 2009.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah
  - Jarak peletakan pelat perforasi: 2D; 3D; 4D dan 5D setelah belokan pipa.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah
  - Penurunan tekanan pada belokan pipa yang diamati.
3. Variabel terkontrol (*controlled variable*) yaitu variabel yang tidak berubah selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah
  - Debit aliran dalam liter/jam: 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000.

#### 3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pipa PVC  
Digunakan sebagai jaringan pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini digunakan diameter pipa PVC 1,25 inci.

## 2. 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:

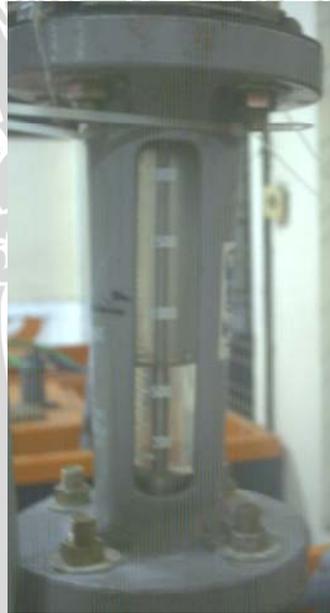
- Laju aliran = 1,35 liter/detik
- Head pompa = 15 m
- Putaran = 5000 rpm
- Keluaran motor penggerak = 0,35 Kw

## 3. Bak Penampung

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

## 4. Rotameter

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



Gambar 3.1 . Rotameter

## 5. Katup (*valve*)

Digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui jaringan pipa.

#### 6. Manometer

Manometer yang digunakan adalah manometer defleksi yang berfungsi untuk mengukur *head* fluida yang mengalir sebelum belokan pipa, sesudah melewati belokan pipa, dan setelah melewati pelat perforasi.



Gambar 3.2. Manometer defleksi

#### 7. Pelat Perforasi

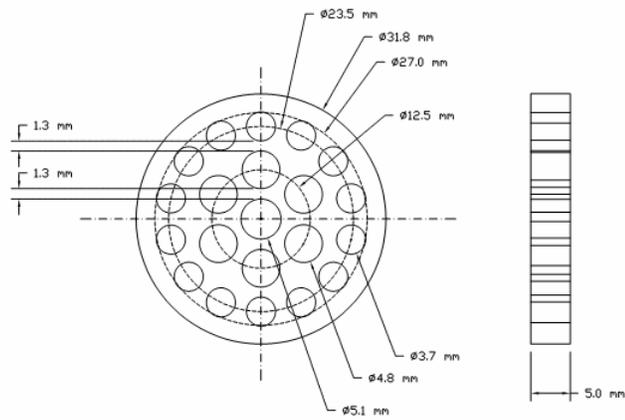
Terbuat dari akrilik dengan geometri dari pelat perforasi adalah sebagai berikut:

- Jumlah total lubang adalah 21 buah dengan susunan jumlah lubang 1; 6; 14
- Porositas dari pelat diambil 50%, sehingga diameter lubang pada pelat menurut teori Elder adalah:

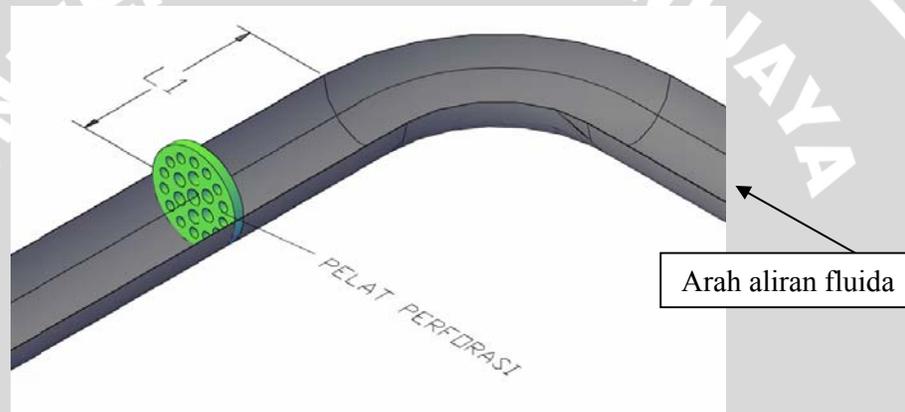
$$d_1 = 0,2679 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot D = 0,2679 \times \sqrt{0,5} \times 27\text{mm} = 5,114 \approx 5,1\text{mm}$$

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \cdot D = 0,6238 \times \sqrt{\frac{0,5}{6}} \times 27\text{mm} = 4,862 \approx 4,8\text{mm}$$

$$d_3 = 0,734 \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{m}} \cdot D = 0,734 \times \sqrt{\frac{0,5}{14}} \times 27\text{mm} = 3,745 \approx 3,7\text{mm}$$



Gambar 3.3. Geometri pelat perforasi 1-6-14



Gambar 3.4. Skema peletakan pelat perforasi 1-6-14

### 3.5 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. Perancangan Instalasi

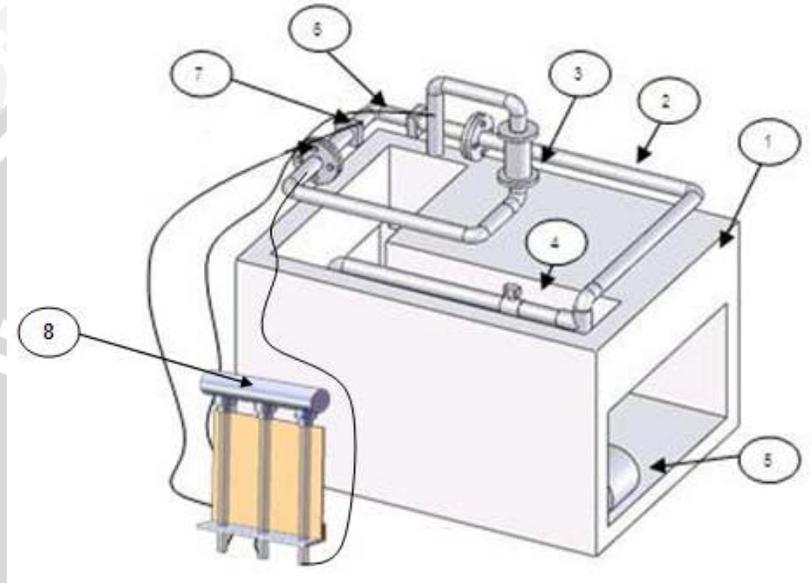
Perancangan instalasi dimulai dengan merancang jaringan pipa, penempatan pelat perforasi pada pipa uji, dan penempatan alat ukur.

#### 4. Pembuatan Alat

Pembuatan alat dimulai dengan mempersiapkan pipa untuk instalasi termasuk pipa uji dan pelat perforasi yang akan diteliti.

### 3.6 Instalasi Penelitian

Susunan peralatan pada saat penelitian dapat dilihat pada gambar 3.5:



Gambar 3.5. Instalasi uji.

Keterangan:

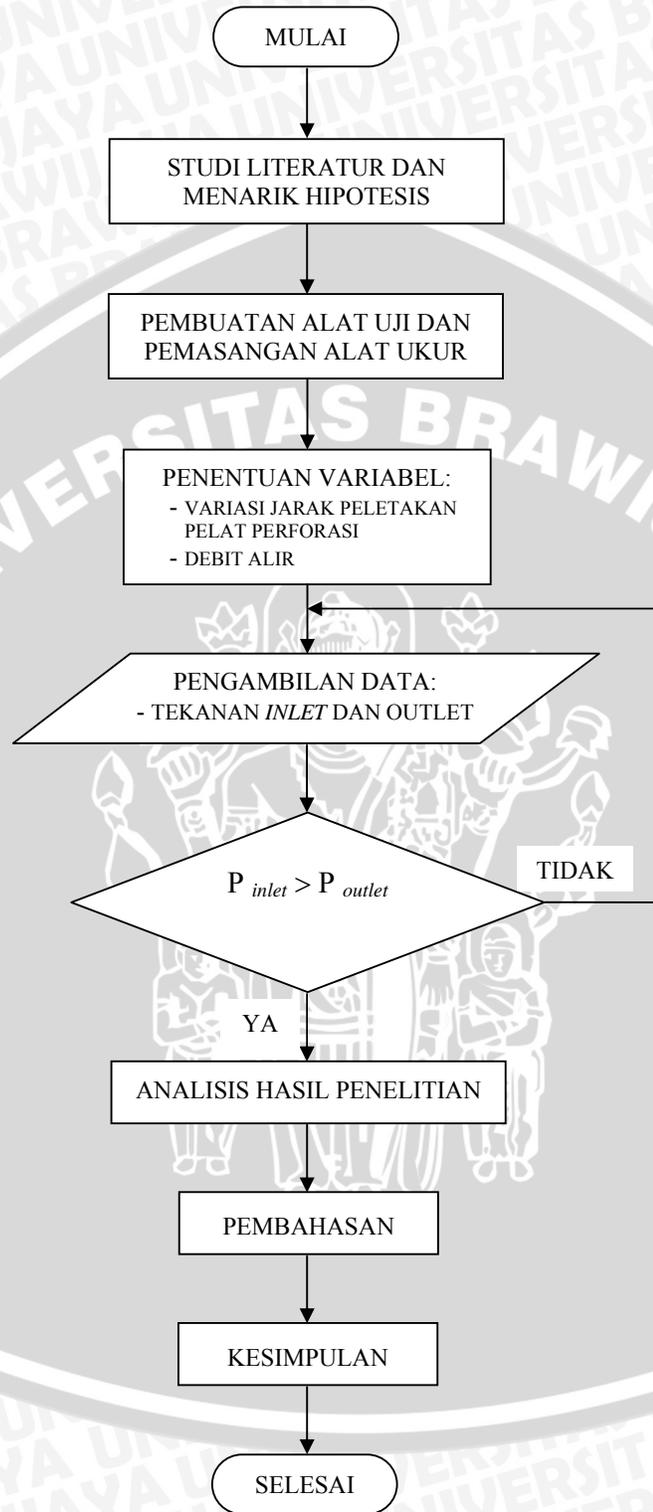
1. Bak penampung
2. Pipa
3. Rotameter
4. Katup / keran
5. Pompa
6. Belokan pipa
7. Peletakan pelat perforasi
8. Manometer

### 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 pelat perforasi dengan jarak peletakan yang telah ditentukan sebagai variabel terkontrol. Pastikan instalasi pipa tidak bocor.
  2. Menutup katup / keran pengatur debit kemudian mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa dengan menyalakan pompa.
  3. Mengatur *head* pompa hingga 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 pengaturannya menggunakan katup / keran, dimana debit aliran dimulai dari yang terendah yaitu 1000 liter/jam. Dikarenakan tidak stabilnya penunjukkan 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 dengan 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.
- Pengolahan data tekanan untuk mendapatkan tekanan rata-rata aliran fluida pada tiap debit untuk masing-masing pipa uji.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6. Diagram alir

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari Kecepatan fluida, Bilangan *Reynold* (Re), Penurunan Tekanan, Kerugian *Head* dan Koefisien Kerugian *Head* (K), dimana data yang diperoleh pada waktu penelitian adalah sebagai berikut:

- Diameter dalam pipa (D) = 31,75 mm
- Suhu air (T) = 23°C
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81  $\frac{m}{s^2}$
- Debit aliran (Q) dengan variasi = 1000 - 2000  $\frac{\text{liter}}{\text{jam}}$

Dari temperatur air pada 23°C tersebut didapatkan nilai dari densitas dan viskositas kinematiknya sebagai berikut (Berdasar tabel properties air dari Streeter, dan Wylie, 1996 : Lampiran):

- Densitas ( $\rho$ ) = 997,54  $\frac{Kg}{m^3}$
- Viskositas kinematik ( $\nu$ ) = 0,941  $\times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

#### Contoh perhitungan data :

- Data tekanan yang terbaca pada manometer dapat diketahui perbedaan tekanan yang terjadi. Perbedaan tekanan yang terjadi pada belokan pipa tanpa pelat perforasi pada debit 1000 liter/jam.
- Luas penampang pipa (A)

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

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (31,75)^2$$

$$= 791,3290625 \text{ mm}^2 = 7,913290625 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Kecepatan aliran fluida (V)

$$\text{Contoh pada } Q = 1000 \frac{\text{liter}}{\text{jam}} = 2,7778 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

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

$$= \frac{2,7778 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{7,913290625 \cdot 10^{-4} m^2} = 0,351026887 \frac{m}{s}$$

- Bilangan Reynold ( $Re$ )

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

$$= \frac{0,351 \frac{m}{s} \times 31,75 \cdot 10^{-3} m}{0,941 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 11843,89339$$

- Kerugian Head ( $\Delta H$ )

$$\Delta H = 0,009 \text{ m}$$

- Penurunan Tekanan ( $\Delta P$ )

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H$$

$$= 997,54 \frac{Kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 0,009 m$$

$$= 88,0728066 \frac{Kg}{ms^2}$$

$$= 88,0728066 Pa$$

- Koefisien Kerugian Head ( $K$ )

Koefisien kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa tanpa pelat perforasi pada debit 1000 liter/jam:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = K \times \frac{V^2}{2}$$

$$K = \frac{\Delta P \times 2}{\rho \times V^2}$$

$$K = \frac{88,0728066 Pa \times 2}{997,54 \frac{Kg}{m^3} \times \left(0,351026887 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$K = \frac{88,0728066 \frac{Kg}{ms^2} \times 2}{997,54 \frac{Kg}{m^3} \times \left(0,351026887 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$K = 1,433048029$$

Koefisien kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa dengan pelat perforasi jarak peletakan 2D dari sisi keluaran belokan pada debit 1000 liter/jam:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = K \times \frac{V^2}{2}$$

$$K = \frac{\Delta P \times 2}{\rho \times V^2}$$

$$K = \frac{58,7152044 Pa \times 2}{997,54 \frac{Kg}{m^3} \times \left(0,351026887 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$K = \frac{58,7152044 \frac{Kg}{ms^2} \times 2}{997,54 \frac{Kg}{m^3} \times \left(0,351026887 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$K = 0,955365352$$

#### 4.2 Data Hasil Perhitungan

Pengambilan data dilakukan dengan variasi jarak peletakan pelat perforasi: 2D, 3D, 4D, dan 5D dari sisi keluaran belokan pipa, serta pengambilan data tanpa pelat perforasi sebagai perbandingan, sedangkan untuk setiap perlakuan juga dilakukan variasi debit yaitu dalam liter/jam: 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900 dan 2000.

Dari perhitungan data pada subbab 4.2, maka untuk semua variasi dapat ditabelkan sebagai berikut:

## 1. Debit (Q), Kecepatan (V), dan Bilangan *Reynold* (Re)

Tabel 4.1 Debit, Kecepatan dan Bilangan *Reynold*

Q (liter/jam)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Bil. <i>Reynold</i> (Re)
1000	0.000277778	0.351026887	11843.89339
1100	0.000305556	0.386129576	13028.28273
1200	0.000333333	0.421232265	14212.67206
1300	0.000361111	0.456334954	15397.0614
1400	0.000388889	0.491437642	16581.45074
1500	0.000416667	0.526540331	17765.84008
1600	0.000444444	0.56164302	18950.22942
1700	0.000472222	0.596745709	20134.61876
1800	0.0005	0.631848397	21319.0081
1900	0.000527778	0.666951086	22503.39744
2000	0.000555556	0.702053775	23687.78677

## 2. Kerugian *Head* ( $\Delta H$ )

Tabel 4.2 Kerugian *Head*

Debit	Kerugian <i>Head</i> (m)				
	Tanpa Pelat Perforasi	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	0.009	0.006	0.0075	0.0085	0.01
1100	0.01	0.007	0.0085	0.0095	0.011
1200	0.012	0.009	0.0105	0.0115	0.013
1300	0.013	0.0095	0.011	0.012	0.014
1400	0.015	0.012	0.0135	0.0145	0.016
1500	0.0155	0.0125	0.014	0.015	0.0165
1600	0.016	0.013	0.0145	0.0155	0.018
1700	0.017	0.0135	0.015	0.016	0.019
1800	0.021	0.0175	0.019	0.02	0.023
1900	0.022	0.0185	0.02	0.021	0.024
2000	0.0235	0.02	0.0215	0.0225	0.0255

### 3. Penurunan Tekanan ( $\Delta P$ )

Tabel 4.3 Penurunan Tekanan

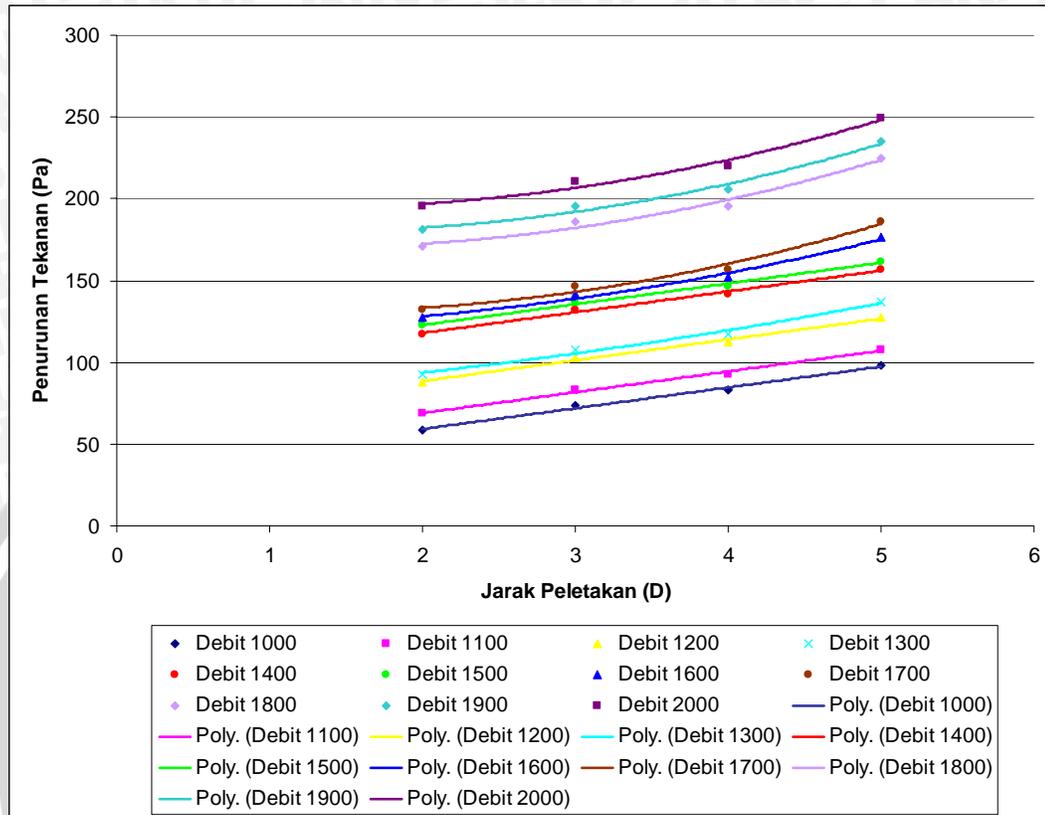
Debit	Penurunan Tekanan / Beda Tekanan (Pa)				
	Tanpa Pelat Perforasi	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	88.0728066	58.7152044	73.3940055	83.1798729	97.858674
1100	97.858674	68.5010718	83.1798729	92.9657403	107.6445414
1200	117.4304088	88.0728066	102.7516077	112.5374751	127.2162762
1300	127.2162762	92.9657403	107.6445414	117.4304088	137.0021436
1400	146.788011	117.4304088	132.1092099	141.8950773	156.5738784
1500	151.6809447	122.3233425	137.0021436	146.788011	161.4668121
1600	156.5738784	127.2162762	141.8950773	151.6809447	176.1456132
1700	166.3597458	132.1092099	146.788011	156.5738784	185.9314806
1800	205.5032154	171.2526795	185.9314806	195.717348	225.0749502
1900	215.2890828	181.0385469	195.717348	205.5032154	234.8608176
2000	229.9678839	195.717348	210.3961491	220.1820165	249.5396187

### 4. Koefisien Kerugian *Head* (K)

Tabel 4.4 Koefisien Kerugian *Head*

Debit	Koefisien Kerugian <i>Head</i> (K)				
	Tanpa Pelat Perforasi	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	1.433048029	0.955365352	1.194206691	1.353434249	1.592275587
1100	1.315930237	0.921151166	1.118540702	1.250133726	1.447523261
1200	1.326896323	0.995172242	1.161034282	1.271608976	1.437471016
1300	1.224827375	0.895066159	1.036392394	1.130609884	1.319044865
1400	1.218578256	0.974862604	1.09672043	1.17795898	1.299816806
1500	1.09690096	0.884597549	0.990749254	1.061517058	1.167668764
1600	0.995172242	0.808577447	0.901874844	0.96407311	1.119568772
1700	0.936632698	0.743796555	0.826440616	0.881536657	1.046824781
1800	1.032030473	0.860025394	0.933741857	0.982886165	1.13031909
1900	0.970361854	0.815986104	0.88214714	0.926254497	1.058576568
2000	0.935461908	0.796137794	0.855848128	0.895655018	1.015075687

### 4.3 Analisis Grafik Hubungan Jarak Peletakan terhadap Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa



Gambar 4.1. Grafik hubungan jarak peletakan terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa.

Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara jarak peletakan terhadap penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) pada belokan pipa. Semua pelat perforasi dipasang pada hilir belokan pipa. Grafik tersebut menunjukkan adanya kecenderungan bahwa semakin jauh jarak peletakan pelat perforasi, maka semakin besar penurunan tekanan yang terjadi pada fluida yang mengalir untuk semua variasi debit aliran. Pada belokan pipa dengan pemasangan pelat perforasi dengan jarak peletakan 2D, penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yang terjadi sebesar 88,07 Pa. Penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) ini akan terus meningkat dengan bertambah jauhnya jarak peletakan pelat perforasi, dimana pada jarak peletakan terjauh yaitu 5D dari hilir belokan pipa menghasilkan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yang terbesar yaitu 97,86 Pa.

Penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi pada belokan pipa tanpa pemasangan pelat perforasi pada debit dalam satuan liter/jam: 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000 secara berurut 88,07 Pa; 97,85 Pa; 117,43

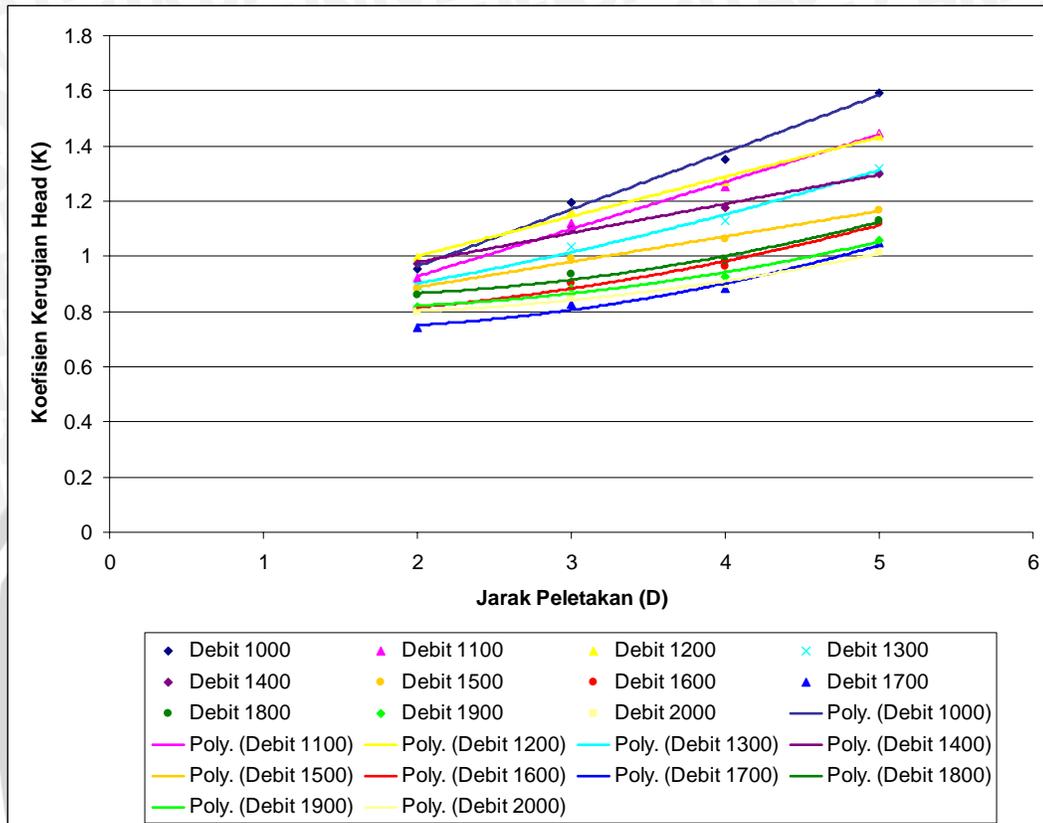
Pa; 127,21 Pa; 146,78 Pa; 151,68 Pa; 156,57 Pa; 166,35 Pa; 205,50 Pa; 215,28 Pa; 229,96 Pa. Sedangkan untuk jarak 2D dengan debit yang sama menunjukkan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) secara berurut yaitu 58,71 Pa; 68,50 Pa; 88,07 Pa; 92,96 Pa; 117,43 Pa; 122,32 Pa; 127,21 Pa; 132,10 Pa; 171,25 Pa; 181,03 Pa; 195,71 Pa dan dengan jarak peletakan pelat perforasi 3D menunjukkan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yaitu 73,39 Pa; 83,17 Pa; 102,75 Pa; 107,64 Pa; 132,10 Pa; 137,00 Pa; 141,89 Pa; 146,78 Pa; 185,93 Pa; 195,71 Pa; 210,39 Pa. Namun dengan peletakan pelat perforsi dengan jarak 4D menghasilkan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yang hampir sama dengan tanpa pelat perforasi, sedangkan jarak 5D menghasilkan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yang lebih tinggi dari pada tanpa pelat, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dengan debit yang sama pada jarak 4D menghasilkan penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yaitu 83,17 Pa; 92,96 Pa; 112,53 Pa; 117,43 Pa; 141,89 Pa; 146,78 Pa; 151,68 Pa; 156,57 Pa; 195,71 Pa; 205,50 Pa; 220,18 Pa, dan dengan jarak 5D penurunan tekanan ( $\Delta P$ ) yang dihasilkan sebesar 97,86 Pa; 107,64 Pa; 127,21 Pa; 137,00 Pa; 156,57 Pa; 161,46 Pa; 176,14 Pa; 185,93 Pa; 225,07 Pa; 234,86 Pa; 249,53 Pa.

Fenomena diatas menunjukkan adanya kecenderungan meningkatnya penurunan tekanan (*pressure drop*) seiring dengan penambahan debit yang identik dengan penambahan kecepatan. Karena perubahan debit sebanding lurus dengan kecepatan fluida. Dengan semakin bertambahnya debit maka semakin besar kecepatan fluida setelah melewati belokan. Adapun persamaan penurunan tekanan yaitu sesuai dengan persamaan (2-17) sebagai berikut:

$$\frac{\Delta P}{\rho} = K \cdot \frac{V^2}{2}$$

Hal itu disebabkan karena dengan bertambahnya kecepatan yang melewati belokan pipa, aliran fluida yang mengalir akan menabrak dinding belokan pipa, akibat tabrakan tersebut pada aliran fluida terjadi perubahan gaya sentrifugal, sehingga menyebabkan gerakan dari aliran fluida ada yang berbelok melawan aliran utama sebelum meninggalkan belokan. Akibatnya setelah fluida keluar dari daerah belokan pipa dalam fluida tersebut akan terbentuk daerah separasi. Separasi inilah yang menyebabkan pola aliran fluida menjadi acak / turbulen, yang dapat memicu terbentuknya *vortex* dan *twineddy*. Adanya *vortex* ini menyebabkan aliran fluida yang mengalir setelah belokan pipa mengalami penurunan tekanan / *pressure drop* ( $\Delta P$ ) yang meningkat pada belokan pipa.

#### 4.4 Analisis Grafik Hubungan Jarak Peletakan terhadap Koefisien Kerugian Head (K) pada Belokan Pipa



Gambar 4.2. Grafik hubungan jarak peletakan terhadap koefisien kerugian head pada belokan pipa

Grafik diatas menunjukkan grafik hubungan antara jarak peletakan pelat perforasi terhadap koefisien kerugian head (K) pada belokan pipa. Semua pelat perforasi dipasang pada hilir belokan. Grafik tersebut menunjukkan adanya kecenderungan bahwa semakin jauh jarak peletakan pelat perforasi, maka semakin besar nilai koefisien kerugian head (K) yang terjadi pada fluida yang mengalir untuk semua variasi debit aliran.

Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Koefisien kerugian head (K) adalah perbandingan antara penurunan tekanan yang diakibatkan oleh kehilangan energi dengan energi kinetik fluida yang dialirkan atau dengan kata lain, koefisien kerugian head (K) adalah persentase kerugian yang dihitung dari energi input, dalam hal ini energi kinetik. 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). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida. Gaya sentrifugal yang terjadi sebanding dengan kuadrat kecepatan fluida. Adanya viskositas dan pengaruh gaya dinding menyebabkan kecepatan fluida tidak seragam, semakin besar mendekati pusat dan semakin mengecil mendekati dinding, sehingga gaya sentrifugal yang bekerja pada tengah arus jauh lebih besar daripada gaya sentrifugal lapisan batas. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder.

Aliran fluida yang melewati belokan tanpa pelat perforasi menghasilkan  $\Delta H$  yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan pemasangan pelat perforasi. Untuk belokan dengan pemasangan pelat perforasi,  $\Delta H$  minimum diperoleh dengan jarak pelatakan pelat perforasi sebesar  $2D$ . Hal ini disebabkan karena semakin dekat jarak pelatakan pelat perforasi 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 maka *head losses* yang terjadi semakin kecil. Jika dihubungkan dengan rumusan Abramovich  $\zeta_{\text{bend}} = 0,73 a.b.c$  ; semakin profil aliran *twin-eddy* mendekati bentuk lingkaran dapat diartikan pula bahwa nilai parameter  $c$  (*side ratio*) semakin mendekati 0,4 yang merupakan nilai  $c$  (*side ratio*) untuk menghasilkan kerugian *head* belokan ( $\zeta_{\text{bend}}$ ) yang minimum. Koefisien kerugian *head* ( $K$ ) adalah sama dengan koefisien kerugian *head* belokan ( $\zeta_{\text{bend}}$ ) hanya saja penulis mengambil istilah dari sumber pustaka yang berbeda. Sehingga semakin kecil *head losses* ( $h$ ) maka koefisien kerugian *head* belokan ( $\zeta_{\text{bend}}$ ) semakin mencapai nilai minimum. Hal tersebut sesuai dengan persamaan (2-15):

$$h = \zeta_{\text{bend}} \cdot \frac{V^2}{2.g}$$

$$\zeta_{\text{bend}} = \frac{h}{\frac{V^2}{2.g}}$$

Fenomena diatas menunjukkan adanya kecenderungan berkurangnya koefisien kerugian *head* seiring dengan penambahan debit yang identik dengan penambahan

kecepatan. Karena perubahan koefisien kerugian *head* berbanding terbalik dengan kecepatan fluida. Dengan semakin bertambahnya debit maka semakin besar kecepatan fluida setelah melewati belokan. Dengan demikian nilai koefisien kerugian *head* akan semakin berkurang.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Dari pengamatan dan analisis terhadap grafik hasil penelitian, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan *flow conditioner* berupa pelat perforasi pada bagian hilir belokan pipa mempengaruhi penurunan tekanan (*pressure drop*).
  - √ Semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi pada bagian hilir belokan pipa maka mengakibatkan penurunan tekanan / *pressure drop* lebih sedikit. Dalam hal ini direkomendasikan pada batas jarak antara 2D sampai dengan 4D. Sedangkan pada batas jarak 5D menimbulkan penurunan tekanan / *pressure drop* yang lebih besar daripada tanpa adanya pelat perforasi.

### 5.2 SARAN

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

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan berbagai variasi fluida yang lain yaitu fluida *compressible*.
2. Perlunya dilakukan analisa mengenai visualisasi pola aliran fluida pada instalasi pipa sebelum dan setelah melewati pelat perforasi.
3. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan jenis *flow conditioner* yang lain seperti *honey comb* untuk dapat mengetahui pengaruhnya terhadap penurunan / beda tekanan (*pressure drop*) dan kerugian *head*.
4. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan variasi diameter belokan yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Daugherty, Robert L; 1989: *Fluid Mechanics with Engineering Application*; Mc Graw Hill Companies Inc., New York.
- 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 Perforated Plate*; US Patent 5529093, United State.
- Laws, Elizabeth M; 1994: *Flow Conditioner*; Salford University; *Jurnal Flow Conditioner*; US Patent 5341848, United Kingdom.
- Muntaha, Ridho; 2004: *Pengaruh Jumlah Sudu Pengarah Terhadap Penurunan Tekanan dan Koefisien Kerugian Head Pada Belokan Pipa*; Skripsi; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- Nekrasov, Boris; 1960: *Hydraulics for Aeronautical Engineers*; Peace Publishers, Moscow.
- Papanastasiou, Tasos C; 1993: *Applied Fluid Mechanics*; Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Potter, Merle C. & Wiggert, David C; 1997: *Mechanics of Fluid*; Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Shao, Ziqiong; 2001: *Numerical and Experimental Evaluation Through Perforated Plates*; Unpublished PhD Thesis; University of Rand Afrikans, Afrika.
- Streeter, Victor L. & Wylie, E. Benjamin; 1996: *Mekanika Fluida*; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- White, Frank M; 1991: *Viscous Fluid Flow*; Mc Graw Hill Book Company, New York.
- Witanto, Yovan; 2004: *Pengaruh Perforasi Terhadap Perilaku Vortex Dibelokan dan Penurunan Tekanan Pada Instalasi Pipa*; Thesis; Jurusan Mesin; Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

[www.flowconditioner.com/products/flowc.htm](http://www.flowconditioner.com/products/flowc.htm)



**LAMPIRAN**

**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



**Lampiran 2**

Tabel Hasil Pengambilan Data dalam cm kolom air

Debit	Tanpa Pelat Perforasi	
	P1	P2
1000	17.25	16.35
1100	18.35	17.35
1200	19.35	18.15
1300	20.75	19.45
1400	22.15	20.65
1500	23.45	21.9
1600	24.85	23.25
1700	26.35	24.65
1800	28.25	26.15
1900	29.65	27.45
2000	31.5	29.15

Jarak	2D		
Debit	P1	P2	P3
1000	19.9	19.3	13.6
1100	21.85	21.15	15.2
1200	23	22.1	13.2
1300	24.95	24	14.9
1400	27.35	26.15	16
1500	29.35	28.1	16.1
1600	32.6	31.3	17.1
1700	20.15	18.8	3
1800	24.9	23.15	5.9
1900	27.45	25.6	6
2000	31.3	29.3	9.1

Jarak	3D		
Debit	P1	P2	P3
1000	13.1	12.35	6.3
1100	14.95	14.1	8
1200	15.9	14.85	6
1300	18.05	16.95	7.7
1400	20.55	19.2	8.3
1500	22.7	21.3	8.8
1600	24.35	22.9	8.1
1700	27.7	26.2	9.7
1800	29.75	27.85	9.5
1900	33.5	31.5	11
2000	32.1	29.95	8

Jarak	4D		
Debit	P1	P2	P3
1000	9.6	8.75	2.4
1100	10.25	9.3	2.5
1200	13.3	12.15	3.2
1300	14.3	13.1	3.8
1400	16.55	15.1	4
1500	18.5	17	4.2
1600	21.3	19.75	4.6
1700	23.8	22.2	5
1800	27.4	25.4	6.2
1900	29.85	27.75	6.2
2000	34.05	31.8	7.6

Jarak	5D		
Debit	P1	P2	P3
1000	9.4	8.4	2
1100	11.8	10.7	3
1200	13.3	12	2
1300	15.9	14.5	3.6
1400	18.4	16.8	4.5
1500	20.15	18.5	4.7
1600	23.4	21.6	5.6
1700	25.4	23.5	5.1
1800	29.9	27.6	6.4
1900	31.4	29	7
2000	31.45	28.9	3.2

Tabel Penurunan Tekanan ( $\Delta P$ ) / Beda Tekanan dalam cm kolom air

Debit	Tanpa Pelat Perforasi	
	P1 - P2	P2 - P3
1000	0.9	0.15
1100	1	0.15
1200	1.2	0.15
1300	1.3	0.15
1400	1.5	0.15
1500	1.55	0.15
1600	1.6	0.15
1700	1.7	0.3
1800	2.1	0.3
1900	2.2	0.3
2000	2.35	0.55

Jarak	2D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.6	5.7	6.3
1100	0.7	5.95	6.65
1200	0.9	8.9	9.8
1300	0.95	9.1	10.05
1400	1.2	10.15	11.35
1500	1.25	12	13.25
1600	1.3	14.2	15.5
1700	1.35	15.8	17.15
1800	1.75	17.25	19
1900	1.85	19.6	21.45
2000	2	20.2	22.2

Jarak	3D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.75	6.05	6.8
1100	0.85	6.1	6.95
1200	1.05	8.85	9.9
1300	1.1	9.25	10.35
1400	1.35	10.9	12.25
1500	1.4	12.5	13.9
1600	1.45	14.8	16.25
1700	1.5	16.5	18
1800	1.9	18.35	20.25
1900	2	20.5	22.5
2000	2.15	21.95	24.1

Jarak	4D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.85	6.35	7.2
1100	0.95	6.8	7.75
1200	1.15	8.95	10.1
1300	1.2	9.3	10.5
1400	1.45	11.1	12.55
1500	1.5	12.8	14.3
1600	1.55	15.15	16.7
1700	1.6	17.2	18.8
1800	2	19.2	21.2
1900	2.1	21.55	23.65
2000	2.25	24.2	26.45



Jarak	5D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	1	6.4	7.4
1100	1.1	7.7	8.8
1200	1.3	10	11.3
1300	1.4	10.9	12.3
1400	1.6	12.3	13.9
1500	1.65	13.8	15.45
1600	1.8	16	17.8
1700	1.9	18.4	20.3
1800	2.3	21.2	23.5
1900	2.4	22	24.4
2000	2.55	25.7	28.25

Nilai Konversi dari cm ke m

Debit	Tanpa Pelat Perforasi	
	P1 - P2	P2 - P3
1000	0.009	0.0015
1100	0.01	0.0015
1200	0.012	0.0015
1300	0.013	0.0015
1400	0.015	0.0015
1500	0.0155	0.0015
1600	0.016	0.0015
1700	0.017	0.003
1800	0.021	0.003
1900	0.022	0.003
2000	0.0235	0.0055

Jarak	2D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.006	0.057	0.063
1100	0.007	0.0595	0.0665
1200	0.009	0.089	0.098
1300	0.0095	0.091	0.1005
1400	0.012	0.1015	0.1135
1500	0.0125	0.12	0.1325
1600	0.013	0.142	0.155
1700	0.0135	0.158	0.1715
1800	0.0175	0.1725	0.19
1900	0.0185	0.196	0.2145
2000	0.02	0.202	0.222

Jarak	3D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.0075	0.0605	0.068
1100	0.0085	0.061	0.0695
1200	0.0105	0.0885	0.099
1300	0.011	0.0925	0.1035
1400	0.0135	0.109	0.1225
1500	0.014	0.125	0.139
1600	0.0145	0.148	0.1625
1700	0.015	0.165	0.18
1800	0.019	0.1835	0.2025
1900	0.02	0.205	0.225
2000	0.0215	0.2195	0.241

Jarak	4D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.0085	0.0635	0.072
1100	0.0095	0.068	0.0775
1200	0.0115	0.0895	0.101
1300	0.012	0.093	0.105
1400	0.0145	0.111	0.1255
1500	0.015	0.128	0.143
1600	0.0155	0.1515	0.167
1700	0.016	0.172	0.188
1800	0.02	0.192	0.212
1900	0.021	0.2155	0.2365
2000	0.0225	0.242	0.2645

Jarak	5D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	0.01	0.064	0.074
1100	0.011	0.077	0.088
1200	0.013	0.1	0.113
1300	0.014	0.109	0.123
1400	0.016	0.123	0.139
1500	0.0165	0.138	0.1545
1600	0.018	0.16	0.178
1700	0.019	0.184	0.203
1800	0.023	0.212	0.235
1900	0.024	0.22	0.244
2000	0.0255	0.257	0.2825



**LAMPIRAN 3**

Tabel Penurunan Tekanan ( $\Delta P$ ) / Beda Tekanan dalam Pa

Debit	Tanpa Pelat Perforasi	
	P1 - P2	P2 - P3
1000	88.0728066	14.6788011
1100	97.858674	14.6788011
1200	117.4304088	14.6788011
1300	127.2162762	14.6788011
1400	146.788011	14.6788011
1500	151.6809447	14.6788011
1600	156.5738784	14.6788011
1700	166.3597458	29.3576022
1800	205.5032154	29.3576022
1900	215.2890828	29.3576022
2000	229.9678839	53.8222707

Debit	2D		
	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	58.7152044	557.7944418	616.5096462
1100	68.5010718	582.2591103	650.7601821
1200	88.0728066	870.9421986	959.0150052
1300	92.9657403	890.5139334	983.4796737
1400	117.4304088	993.2655411	1110.69595
1500	122.3233425	1174.304088	1296.627431
1600	127.2162762	1389.593171	1516.809447
1700	132.1092099	1546.167049	1678.276259
1800	171.2526795	1688.062127	1859.314806
1900	181.0385469	1918.03001	2099.068557
2000	195.717348	1976.745215	2172.462563

Debit	3D		
	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	73.3940055	592.0449777	665.4389832
1100	83.1798729	596.9379114	680.1177843
1200	102.7516077	866.0492649	968.8008726
1300	107.6445414	905.1927345	1012.837276
1400	132.1092099	1066.659547	1198.768757
1500	137.0021436	1223.233425	1360.235569
1600	141.8950773	1448.308375	1590.203453
1700	146.788011	1614.668121	1761.456132
1800	185.9314806	1795.706668	1981.638149
1900	195.717348	2006.102817	2201.820165
2000	210.3961491	2147.997894	2358.394043

Jarak	4D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	83.1798729	621.4025799	704.5824528
1100	92.9657403	665.4389832	758.4047235
1200	112.5374751	875.8351323	988.3726074
1300	117.4304088	910.0856682	1027.516077
1400	141.8950773	1086.231281	1228.126359
1500	146.788011	1252.591027	1399.379038
1600	151.6809447	1482.558911	1634.239856
1700	156.5738784	1683.169193	1839.743071
1800	195.717348	1878.886541	2074.603889
1900	205.5032154	2108.854425	2314.35764
2000	220.1820165	2368.179911	2588.361927

Jarak	5D		
Debit	P1 - P2	P2 - P3	P1 - P3
1000	97.858674	626.2955136	724.1541876
1100	107.6445414	753.5117898	861.1563312
1200	127.2162762	978.58674	1105.803016
1300	137.0021436	1066.659547	1203.66169
1400	156.5738784	1203.66169	1360.235569
1500	161.4668121	1350.449701	1511.916513
1600	176.1456132	1565.738784	1741.884397
1700	185.9314806	1800.599602	1986.531082
1800	225.0749502	2074.603889	2299.678839
1900	234.8608176	2152.890828	2387.751646
2000	249.5396187	2514.967922	2764.507541



## LAMPIRAN 4

Tabel Koefisien Kerugian *Head* (K)

Debit	Koefisien Kerugian <i>Head</i> (K)				
	Tanpa Pelat Perforasi	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	1.433048029	0.955365352	1.194206691	1.353434249	1.592275587
1100	1.315930237	0.921151166	1.118540702	1.250133726	1.447523261
1200	1.326896323	0.995172242	1.161034282	1.271608976	1.437471016
1300	1.224827375	0.895066159	1.036392394	1.130609884	1.319044865
1400	1.218578256	0.974862604	1.09672043	1.17795898	1.299816806
1500	1.09690096	0.884597549	0.990749254	1.061517058	1.167668764
1600	0.995172242	0.808577447	0.901874844	0.96407311	1.119568772
1700	0.936632698	0.743796555	0.826440616	0.881536657	1.046824781
1800	1.032030473	0.860025394	0.933741857	0.982886165	1.13031909
1900	0.970361854	0.815986104	0.88214714	0.926254497	1.058576568
2000	0.935461908	0.796137794	0.855848128	0.895655018	1.015075687

