

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN KOMBINASI PELAT
PERFORASI 1-6-14 DAN 1-7-13 TERHADAP PENURUNAN TEKANAN
PADA BELOKAN PIPA**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**HUSEIN MUKHAMMAD IRSYAD
NIM. 0510620054-62**

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



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



Disusun oleh :

**HUSEIN MUKHAMMAD IRSYAD
NIM. 0510620054-62**

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**



LEMBAR PENGESAHAN

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

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Disusun oleh :

**HUSEIN MUKHAMMAD IRSYAD
NIM. 0510620054**

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



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak.

Atas bantuan dan dorongan, baik yang berupa moril dan materiil yang diberikan maka pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi., ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Anindito P., ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
- Bapak Ir. Djoko Sutikno., M.Eng selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
- Bapak Ir Bardji Hadi Pranoto selaku Dosen Pembimbing II yang dengan tulus telah banyak membantu dalam penulisan skripsi ini.
- Bapak-bapak Dosen Penguji Komprehensif Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan masukan pada penulis.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini tentunya ada kekurangan, maka diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Malang, 5 Februari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR SIMBOL	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Fluida.....	5
2.2.1 Definisi Fluida.....	5
2.2.2 Viskositas.....	6
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 tak mampu mampat	8
2.4 Bilangan Reynold.....	8
2.4.1 Aliran Laminer dan Turbulen	9
2.4.2 Fully Developed (Berlangsung Mantap).....	11
2.5 Aliran Fluida dalam Pipa	12

2.5.1	Analisis aliran dalam pipa dengan penampang bundar (Hukum Kontinuitas).....	12
2.5.2	Persamaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Ideal	12
2.5.3	Persamaa <i>Bernoulli</i> Untuk Fluida Real	14
2.6	<i>Head Losses</i>	15
2.8.1	Mayor Losses	15
2.6.2	Minor Losses.....	16
2.6.3	<i>Minor Losses</i> pada belokan pipa.....	16
2.7	<i>Vortex</i>	20
2.8	<i>Flow Conditioner</i>	22
2.8.1	Pelat Perforasi	23
2.8.2	Jenis Pelat Perforasi.....	24
2.9	Hipotesis	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Metodologi Penelitian	28
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3	Variabel Penelitian	28
3.4	Peralatan dan Bahan Penelitian	29
3.5	Prosedur Penelitian	32
3.6	Instalasi Penelitian	32
3.7	Metode Pengambilan Data.....	33
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Hasil Pengolahan Data	37
4.2	Data Hasil Perhitungan	38
4.3	Analisa Grafik Hubungan antara Variasi Debit terhadap Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa	40
4.4	Analisa Grafik Hubungan antara variasi debit dengan koefisien Kerugian Head pada Belokan Pipa.....	43

4.5 Analisa Grafik Hubungan antara variasi Jarak Peletakan Kombinasi Pelat Perforasi dengan Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa.....	45
--	----

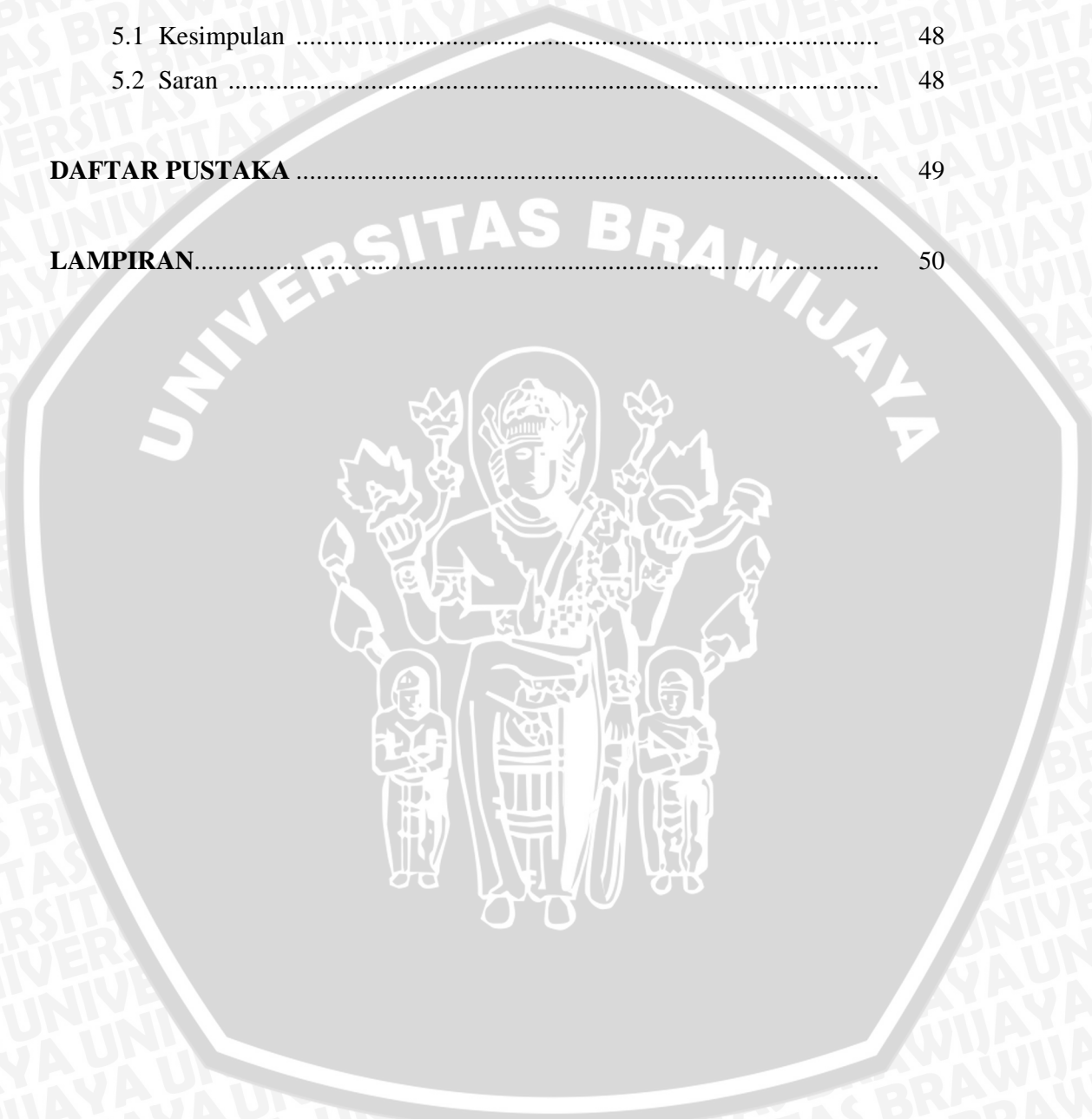
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
---	-----------

5.1 Kesimpulan	48
----------------------	----

5.2 Saran	48
-----------------	----

DAFTAR PUSTAKA	49
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	50
----------------------	-----------



DAFTAR SIMBOL

Δp	: Beda Tekanan
ν	: Viskositas Kinematik
μ	: Viskositas Dinamik
ρ	: Massa Jenis
M	: Bilangan Mach
Re	: Bilangan Reynold
V	: Kecepatan
D	: Diameter
L	: Panjang pipa
m	: Massa
A	: Luas Penampang
W	: Energi
w	: Energi spesifik
H	: head
Z	: Elevasi
P	: Tekanan
α	: Faktor Distribusi Kecepatan
g	: Percepatan Gravitasi
λ	: Faktor Gesek
ζ	: Koefisien Kerugian Belokan
a	: fungsi radius belokan relatif
b	: fungsi dari sudut belokan relatif
c	: fungsi dari aspek rasio pipa

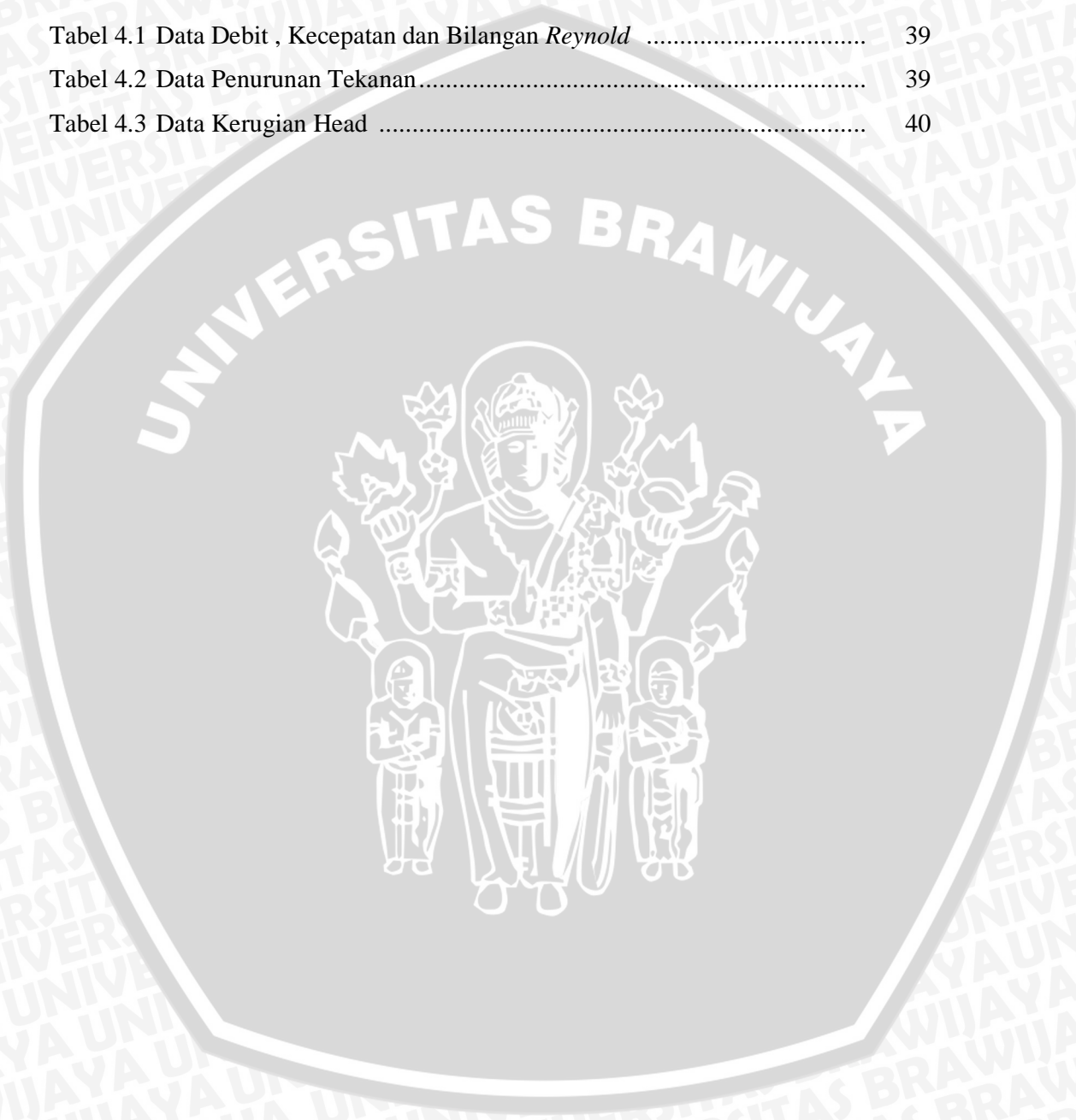


R : Jari jari
Q : Debit
T : Temperature



DAFTAR TABEL

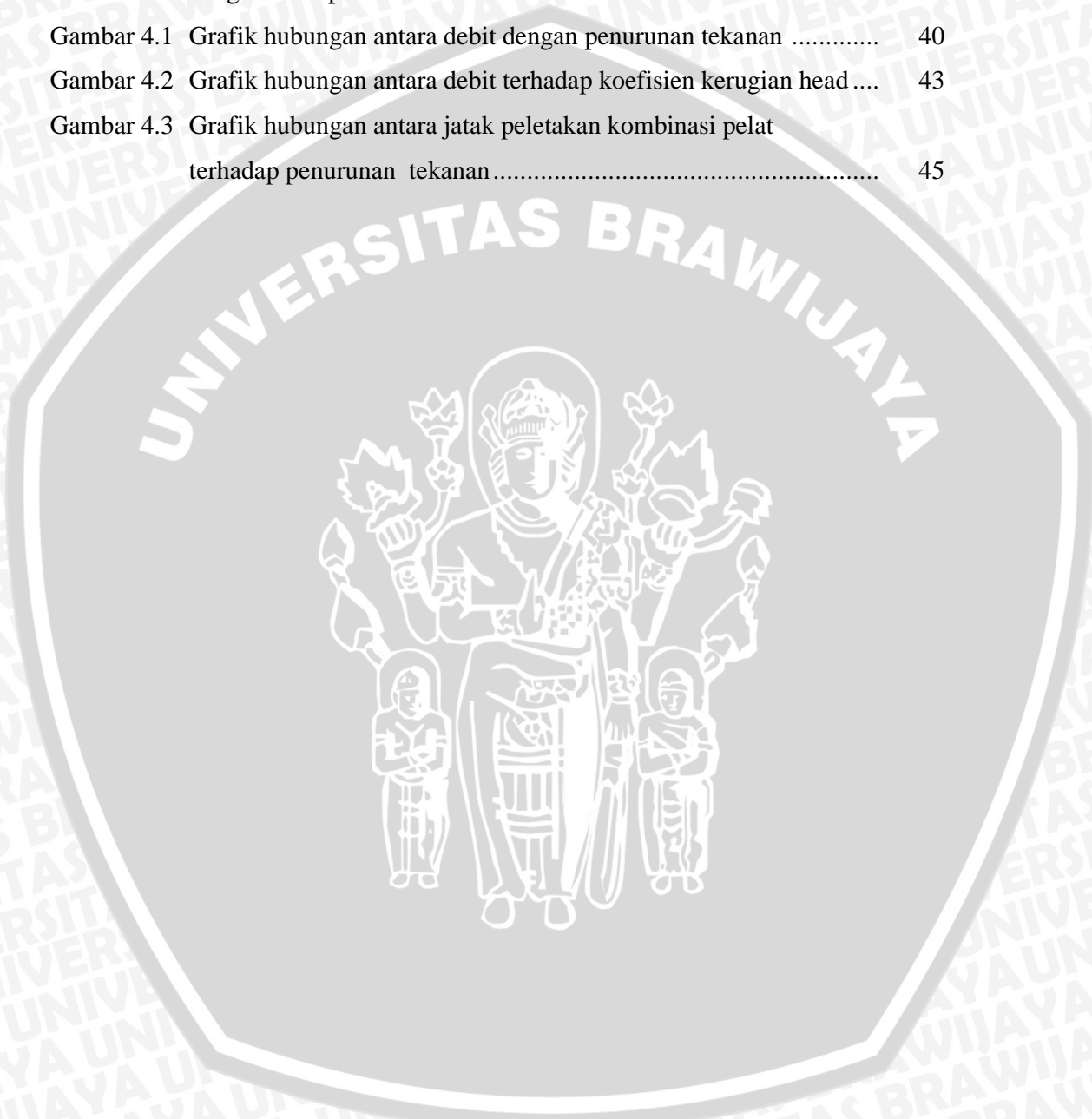
No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Data Debit , Kecepatan dan Bilangan <i>Reynold</i>	39
Tabel 4.2	Data Penurunan Tekanan	39
Tabel 4.3	Data Kerugian Head	40



DAFTAR GAMBAR

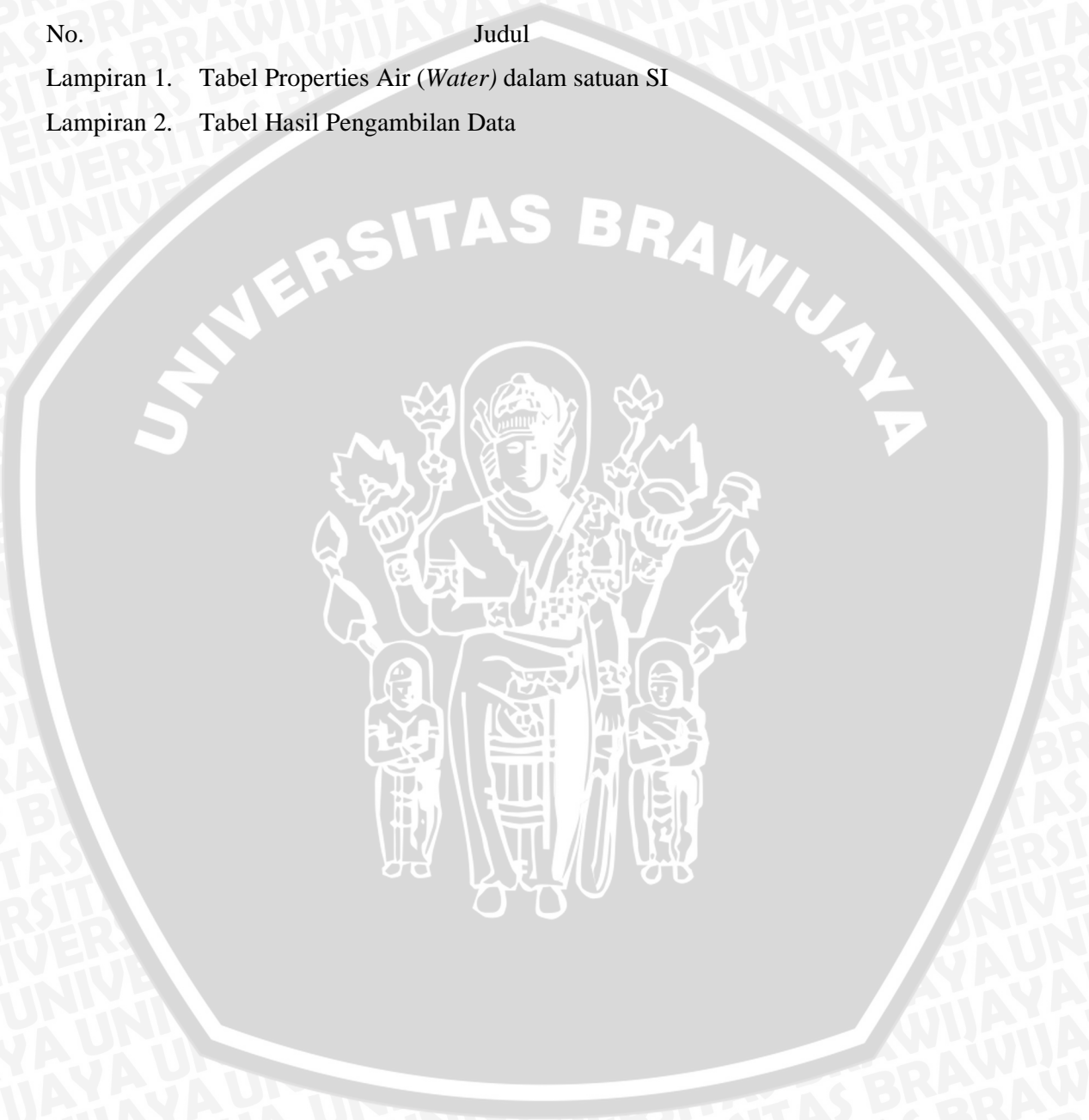
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Perubahan Bentuk yang diakibatkan oleh penerapan gaya geser yang konstan.....	5
Gambar 2.2	Dstruktur <i>Boundary Layer</i>	7
Gambar 2.3	Fluida Newtonian dan Fkuida non-Newtonian.....	8
Gambar 2.4	Aliran Laminer	10
Gambar 2.5	Aliran Turbulen	10
Gambar 2.6	Perkembangan Aliran Laminar pada pipa.....	11
Gambar 2.7	Aliran <i>Steady</i> dalam pipa	12
Gambar 2.8	Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring	14
Gambar 2.9	Bentuk-bentuk lokal saluran	16
Gambar 2.10	Belokan siku	17
Gambar 2.11	Profil aliran melewati belokan	17
Gambar 2.12	Aliran sekunder pada belokan pipa.....	12
Gambar 2.13	Belokan circular 90°.....	12
Gambar 2.14	Grafik hubungan terhadap nilai $(\frac{u}{u_c})_a$	19
Gambar 2.15	Grafik hubungan terhadap nilai $(\frac{u}{u_c})_c$	19
Gambar 2.16	Grafik hubungan terhadap nilai $(\delta)_b$	20
Gambar 2.17	Geometri <i>Vortex</i> menurut besar bilangan <i>Reynold</i>	21
Gambar 2.18	<i>Vortex</i> 2 dimensi	21
Gambar 2.19	<i>Vortex</i> 2 dimensi.....	22
Gambar 2.20	Pelat perforasi.....	23
Gambar 2.21	contoh kombinasi pelat perforasi	24
Gambar 2.22	<i>MHI Conditioner</i>	25
Gambar 2.23	<i>The Sparmen (NEL) Conditioner</i>	25
Gambar 2.24	<i>The Laws Conditioner</i>	26
Gambar 3.1	Peletakan kombinasi pelat perforasi	29

Gambar 3.2 Rotameter	30
Gambar 3.3 Manometer	31
Gambar 3.4 Instalasi uji	33
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara debit dengan penurunan tekanan	40
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara debit terhadap koefisien kerugian head....	43
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara jatak peletakan kombinasi pelat terhadap penurunan tekanan.....	45



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Tabel Properties Air (<i>Water</i>) dalam satuan SI
Lampiran 2.	Tabel Hasil Pengambilan Data



RINGKASAN

Husein Mukhammad Irsyad, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2010. *Pengaruh variasi Jarak Peletakan Kombinasi Pelat Perforasi 1-6-14 dan 1-7-13 terhadap Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa*, Dosen Pembimbing : Ir. Djoko Sutikno, M.Eng dan Ir. Bardji Hadi Pranoto.

Flow conditioner digunakan untuk mengkondisikan pola aliran fluida. Pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) merupakan salah satu cara untuk mengkondisikan aliran di dalam belokan pipa, katup, belokan atau sambungan pipa. Penggunaan *flow conditioner* sendiri terkadang meningkatkan penurunan tekanan pada belokan pipa. Namun demi terjaganya kondisi pola aliran, *flow conditioner* tetap digunakan.

Pelat perforasi adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran (*flow conditioner*) yang berfungsi untuk mengkondisikan aliran fluida sehingga akan memberikan peluang terbentuknya *twin eddy* berprofil lingkaran sehingga dapat mengurangi daerah separasi dan *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup (*valve*), belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa. metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen nyata. Pada penelitian ini digunakan instalasi *hydraulic bench* dengan mengatur debit air pada instalasi pipa. Jenis *flow conditioner* yang digunakan adalah kombinasi pelat perforasi 1-6-14 dan 1-7-13 dengan variasi jarak peletakan dari sisi keluaran pada belokan pipa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi dari sisi keluaran belokan pipa akan mempercepat peluang terbentuknya *twin eddy* berprofil lingkaran, sehingga nilai parameter c menjadi minimum disertai dengan nilai kerugian *head* belokan lebih kecil yang menyebabkan penurunan tekanan pada belokan pipa juga semakin berkurang. Penurunan tekanan terkecil yaitu 792,7 Pa didapat pada peletakan pelat perforasi 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 sejauh 3D setelah belokan pada debit air sebesar 1000 L/jam, dan penurunan tekanan terbesar yaitu 949,2

Pa didapat pada peletakan pelat perforasi 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 sejauh 5D setelah belokan pada debit air sebesar 2000 L/jam

Kata kunci : Belokan pipa, jarak, kombinasi pelat perforasi, penurunan tekanan.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Salah satu penelitian yang dapat dikembangkan dalam bidang teknik mesin adalah tentang mekanika fluida. Mekanika fluida 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 (Wardana *dalam* Putra, 2007). Gesekan fluida pada dinding pipa merupakan penyebab utama terjadinya kerugian energi pada sistem instalasi fluida (Mataousek, 2000 *dalam* 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* dan lain-lain disebut *minor losses*.

Penurunan tekanan pada belokan pipa mempunyai kerugian *head* yang lebih besar daripada kerugian akibat gesekan pada pipa lurus dengan panjang yang sama, hal itu disebabkan karena adanya pemisahan aliran pada dinding dan aliran sekunder yang berpusar (Frank, 1988). Pemisahan aliran pada dinding dan aliran sekunder yang berpusar (*twin-eddy*) yang disebabkan oleh adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada tiap partikel fluida ketika fluida itu melewati belokan sehingga mempengaruhi keseragaman distribusi kecepatan. Gaya sentrifugal akan menyebabkan fluida dalam belokan berputar sehingga terbentuklah *twin-eddy* (pusaran kembar) yang merupakan salah satu faktor utama penentu besar koefisien kerugian *head* (Nekrasov, 1960). Akibat dari pola aliran dalam belokan

tersebut, menimbulkan beberapa kerugian yang lainnya dalam sistem belokan tersebut. Kerugian tersebut antara lain ruang kosong yang timbul di belokan pipa menyebabkan kavitasi pada aliran air di belokan pipa, terkikisnya dinding belokan pada pipa akibat gelembung air yang mengikis dinding belokan pipa, getaran pada belokan pipa, maupun penurunan tekanan akibat *major losses* yang terjadi di dalam belokan itu sendiri. Semakin besar koefisien kerugian *head*, semakin besar *losses* yang terjadi pada belokan sehingga semakin besar pula *pressure drop* (Δp).

Flow conditioner digunakan untuk mengkondisikan pola aliran fluida. Pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) merupakan salah satu cara untuk mengkondisikan aliran di dalam belokan pipa, katup, belokan atau sambungan pipa. Penggunaan *flow conditioner* sendiri terkadang meningkatkan penurunan tekanan pada belokan pipa. Namun demi terjaganya kondisi pola aliran, *flow conditioner* tetap digunakan.

Pelat perforasi adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran (*flow conditioner*) yang berfungsi untuk mengkondisikan aliran fluida sehingga akan memperkecil 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 (Shao, 2001). Oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut bagaimana pengaruh pemasangan suatu alat pengkondisi aliran berupa beberapa variasi *pelat perforasi* (pelat berlubang) terhadap penurunan tekanan, yaitu dengan variasi debit aliran dan jarak peletakan *pelat perforasi*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

- Bagaimana pengaruh variasi jarak peletakan kombinasi pelat perforasi 1-6-14 dan 1-7-13 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. Penurunan tekanan yang diteliti hanya pada belokan pipa dan pelat perforasi.
3. Diameter pipa (luar) yaitu 1,25 inci
4. Pelat perforasi yang digunakan dari bahan fiber.
5. Pelat perforasi yang digunakan adalah model 1-6-14 dan model 1-7-13.
6. Pelat perforasi model 1-6-14 diletakkan 2D setelah belokan.
7. Pelat perforasi model 1-7-13 letaknya divariasikan sejauh 3D, 4D, 5D, dan 6D setelah belokan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi jarak peletakan kombinasi pelat perforasi 1-6-14 dan 1-7-13 terhadap penurunan tekanan pada belokan pipa.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai refrensi tambahan bagi mahasiswa teknik mesin pada khususnya dalam penelitian-penelitian selanjutnya tentang pelat perforasi.
2. Dapat menambah khasanah penelitian bagi dunia ilmu pengetahuan khususnya yang berhubungan dengan Teknik Mesin.
3. Dapat digunakan untuk penerapan teknologi khususnya yang berhubungan dengan mekanika fluida dan sistem perpipaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Deane (1996) dalam memperlihatkan bahwa ternyata *flow conditioner* cukup berperan dalam dunia industri. *Flow conditioner* membantu menjamin keakuratan *flowmeter* dengan menghilangkan gangguan-gangguan yang terjadi selama pengukuran dalam suatu instalasi industri, sehingga anggaran kebutuhan pipa dapat ditekan.

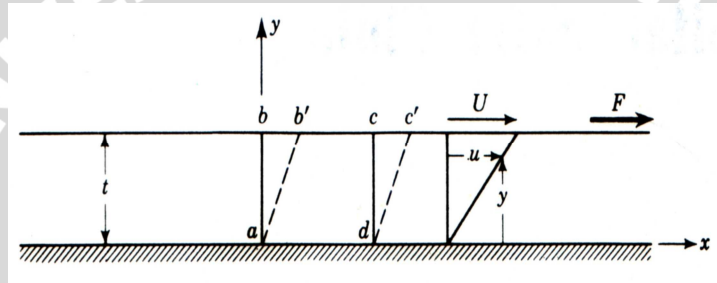
Witanto (2004), meneliti tentang belokan pipa dimana pada dinding pipa sebelum belokan pipa dibuat perforasi (lubang-lubang) dengan variasi lubang perforasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengurangi kecepatan aksial sebelum belokan dengan cara membangkitkan aliran radial lewat perforasi sehingga 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 (Δp) menjadi makin meningkat.

Kriswidianoro (2006) menganalisa tentang pengaruh jumlah lubang dan susunan lubang plat perforasi terhadap getaran pada pipa lurus akibat aliran fluida. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah adanya pengaruh jumlah lubang dan susunan plat perforasi terhadap getaran yang ditimbulkannya yaitu secara umum semakin sedikit jumlah lubang plat perforasi maka getaran yang dihasilkan akan semakin kecil pula. Hal ini disebabkan karena dengan semakin sedikitnya jumlah lubang plat perforasi maka akan timbul kerugian head yang mengakibatkan kecepatan fluida semakin kecil dan gaya tekan fluida semakin kecil sehingga getaran yang dihasilkannya pun 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, betapapun 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 and Wylie, 1996 : 3)



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

Sumber : Streeter and Wylie.1996 : 4

Pada gambar 2.1 diatas dapat dilihat bahawa suatu zat yang ditempatkan di antara 2 plat yang sejajar dengan jarak yang sangat kecil (Y) dan mempunyai luas yang tak terhingga sehingga pada keadaan tepi-tepinya dapat diabaikan. Pelat bagian bawah dalam keadaan diam dan pelat bagian atas bergerak dengan kecepatan U karena adanya gaya F terhadap suatu luasan A dari pelat yang bergerak

Apabila gaya F tersebut menyebabkan pelat atas bergerak dengan suatu kecepatan, betapapun sangat kecilnya gaya F , 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.

2.2.2 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. Semakin tinggi viskositas suatu fluida, maka semakin sulit fluida tersebut mengalami deformasi akibat suatu gaya yang bekerja padanya. 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.

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-1)$$

Keterangan :

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

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

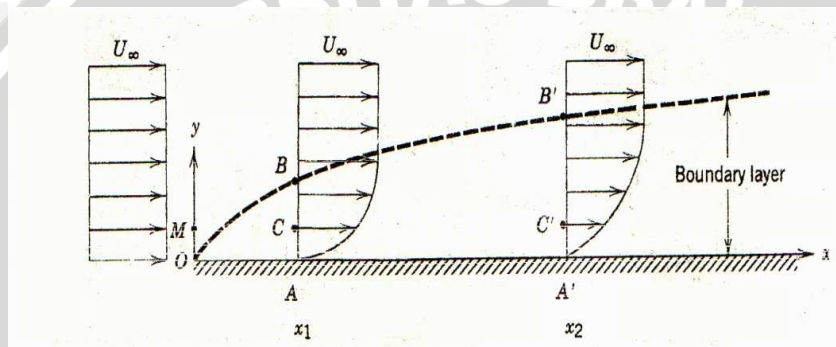
ρ = densitas / massa jenis (Kg/m^3)

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. Lapisan batas selalu terjadi pada aliran fluida dimana lapisan batas tersebut terjadi akibat perbedaan kecepatan pada masing-masing lapisannya sehingga membentuk suatu 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, 1994 : 2

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. 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.

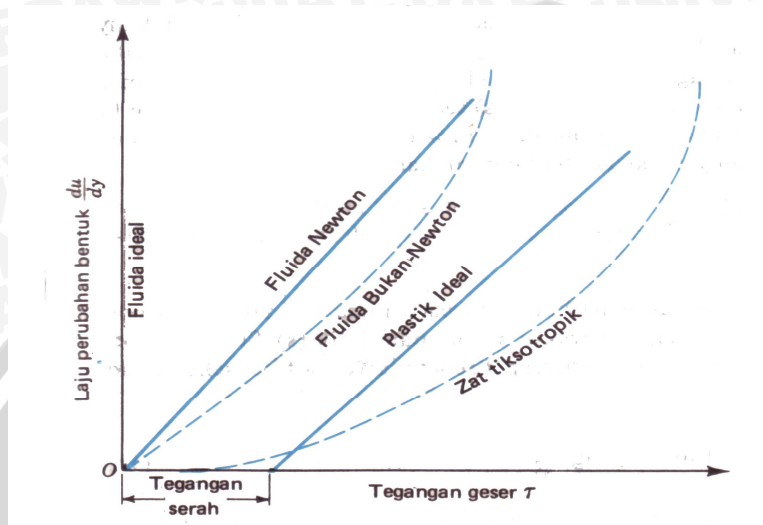
2.3 Klasifikasi Fluida

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 laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Sedangkan fluida non-

Newtonian memiliki hubungan yang tak linier antara besarnya tegangan geser dengan laju perubahan bentuk seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3

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



Gambar 2.3 : Fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian

Sumber : Streeter and Wylie.1996 : 5

2.3.2 Fluida mampu mampat dan Fluida takmampu mampat

Menurut Daugherty(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 (ρ) konstan, tidak terpengaruh oleh perubahan tekanan $\frac{d\rho}{dp} = 0$. Sedangkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) massa jenisnya (ρ) berubah-ubah terhadap tekanan

$$\frac{d\rho}{dp} > 0.$$

2.4 Bilangan Reynold

Aliran fluida baik itu *eksternal* ataupun *flow internal flow*, mengalami perubahan pola aliran dari laminer kemudian transisi hingga pada akhirnya menjadi turbulen. Bilangan *Reynold* menentukan kondisi aliran laminer atau turbulen pada *incompressible flow*. Bilangan *Reynold* merupakan 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

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

Keterangan :

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

D = diameter pipa (meter)

ν = viskositas kinematik (m²/s)

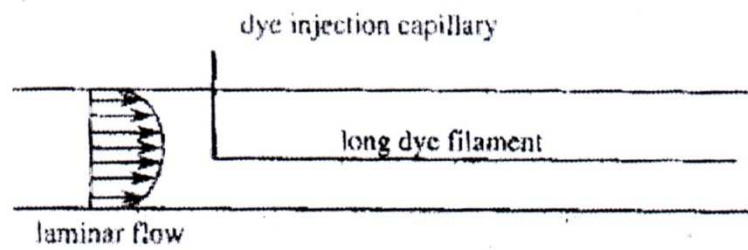
μ = viskositas absolut/dinamik (N.s/ m²)

ρ = densitas (Kg/m³)

2.4.1 Aliran Laminer dan Turbulen

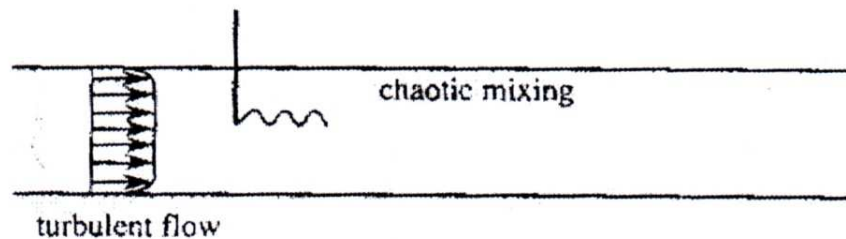
Aliran laminer adalah suatu aliran fluida yang memiliki *stream line* teratur dan tidak saling berpotongan antara satu dengan yang lain, yang bergerak mengikuti arah kontur dari saluran. Pada aliran laminer lapisan-lapisan atau lamina-lamina fluida bergerak secara lancar dan teratur, dengan tidak ada 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. Diatas angka *Reynold* lebih dari 2300, aliran fluida berubah menjadi aliran turbulen. 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

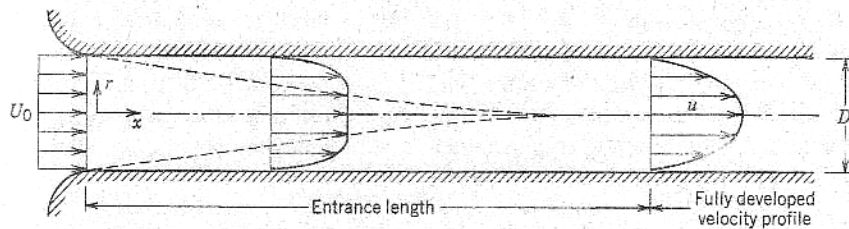
Aliran turbulen memiliki angka *Reynold* lebih kecil dari 2300 aliran fluida dimana *stream line* bergerak secara acak ke segala arah dan saling berpotongan antara satu dan yang lain. Hal ini dikarenakan pada aliran turbulen memiliki partikel-partikel fluida yang bergerak secara acak dengan saling tukar 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

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 Fully Developed (Berlangsung Mantap)



Gambar 2.6 : Perkembangan aliran laminar pada pipa

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 laminar atau turbulen.

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

Rumus *Entrance length* adalah :

$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2-3)$$

Keterangan :

L = *entrance length* (m)

D = diameter pipa (m)

ρ = densitas (Kg/m^3)

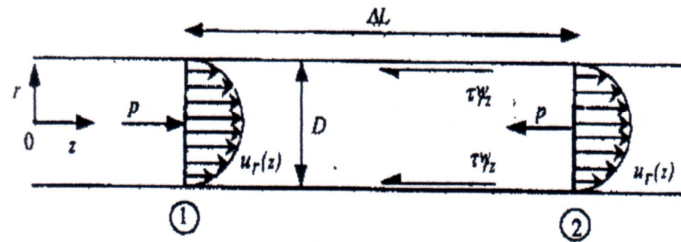
V = kecepatan rata-rata (m/s)

μ = viskositas absolut (N.s/m^2)

(Fox, 1994: 305)

2.5 Aliran fluida dalam pipa

2.5.1 Analisis aliran dalam pipa dengan penampang bundar (Hukum Kontinuitas)



Gambar 2.7 : Aliran *steady* dalam pipa

Sumber : Papanastasiou.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 (White, Frank M, 1994:305)

$$m_1 = m_2 = \text{konstan}$$

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

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 :

$$Q_1 = A_1 \cdot V_1 = Q_2 = A_2 \cdot V_2 \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-4)$$

Dengan : Q = debit aliran fluida (m^3/s)

A = luas penampang pipa (m^2)

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

2.5.2 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 (ρ) konstan:

$$W = m \cdot g \cdot Z + m \cdot \frac{P}{\rho} + m \cdot \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter. \& Wylie, 1991:4}) \quad (2-5)$$

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 :

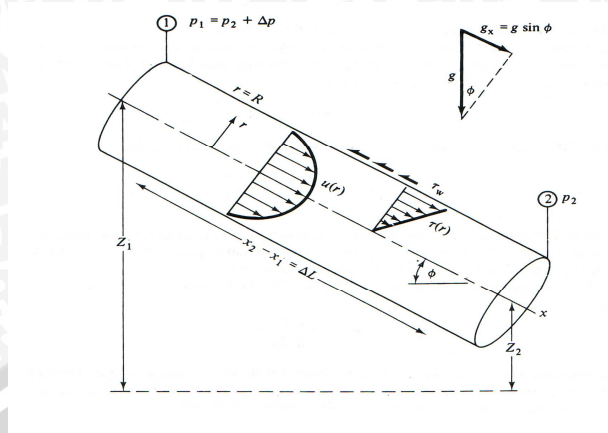
$$w = g \cdot Z + m \cdot \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter. \& Wylie, 1991:4}) \quad (2-6)$$

Apabila persamaan tersebut dibagi lagi dengan percepatan gravitasi g , maka akan didapat salah satu ruas dari persamaan *bernoulli* yang mempunyai arti ketinggian kolom air. Persamaan ketinggian kolom airnya yaitu:

$$H = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} = \text{konstan} \quad (\text{Streeter \& Wylie, 1991:4}) \quad (2-7)$$

Jadi sesuai dengan persamaan ketinggian kolom air diatas dan pada gambar 2.8 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

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Streeter \& Wylie, 1991:4}) \quad (2-8)$$



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

Sumber : White .1954: 305

2.5.3 Persamaan Bernoulli Untuk Fluida Real

Persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menunjukkan suatu 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.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{Vm_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{Vm_2^2}{\rho \cdot g} + \sum h \quad (2-9)$$

(Nekrasov. 1990: 59)

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* (Σh) karena pada fluida real terjadi kehilangan energi dan juga α yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida real tidak seragam. Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa persamaan *Bernoulli* untuk fluida real menggambarkan kesetimbangan energi seperti halnya hukum energi mekanik, tetapi mengikutsertakan kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut. (Nekrasov, 1990: 60)

2.6 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*.

2.6.1 Mayor losses

Mayor 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*.

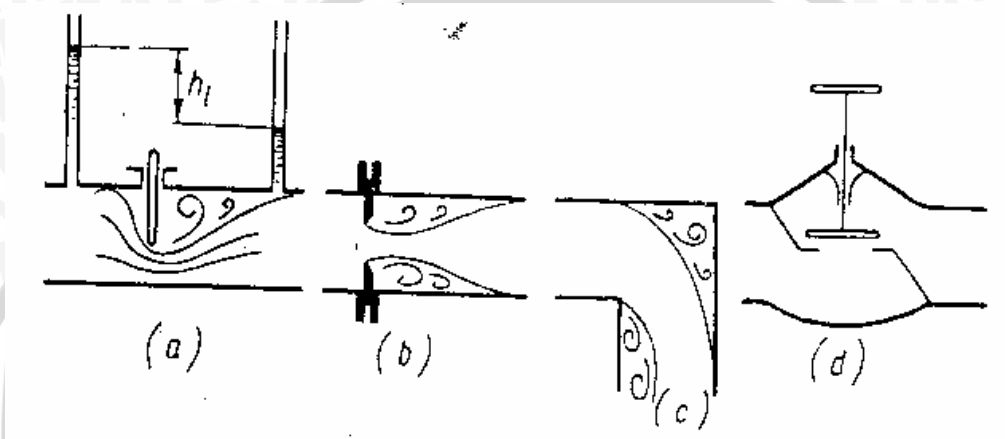
Rumusan untuk *major losses* menurut Parcy.

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{(Nekrasov, 1960:60) (2-10)}$$

Keterangan: $h = \text{major losses}$ (m)
 $\lambda =$ faktor gesek
 $l =$ panjang pipa (m)
 $d =$ diameter pipa (m)
 $V =$ kecepatan fluida (m/s)

2.6.2 *Minor losses*

Minor losses adalah energi yang hilang dari fluida disebabkan oleh perubahan bentuk lokal dari saluran, seperti; perubahan luas panampang, katup, belokan dan *orifice* seperti pada gambar 2.9. *Minor losses* terjadi karena aliran yang mengalir melewati bentuk lokal dari saluran mengalami perubahan kecepatan, arah atau besarnya, maupun keduanya.



Gambar 2.9 : Bentuk-bentuk lokal saluran

Sumber : Nekrasov, 1960 : 61

Minor losses dapat dirumuskan:

$$h = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1960: 61}) \quad (2-11)$$

Keterangan :

ζ = Koefisien kerugian *head minor losses*

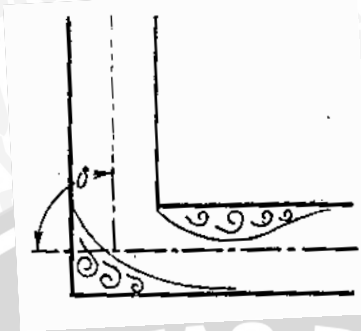
V = Kecepatan Fluida (m/s)

g = Gravitasi (m/s^2)

2.6.3 *Minor Losses pada belokan pipa*

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 (δ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif saluran arah

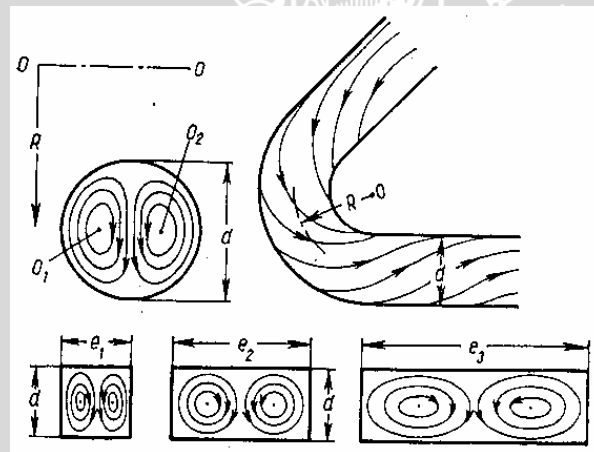
keluar aliran. Belokan halus atau *circular* cenderung mengurangi turbulensi yang menghambat aliran bila dibandingkan dengan belokan yang kasar dan siku.



Gambar 2.10 : Belokan siku

Sumber : Nekrasov, 1960:118

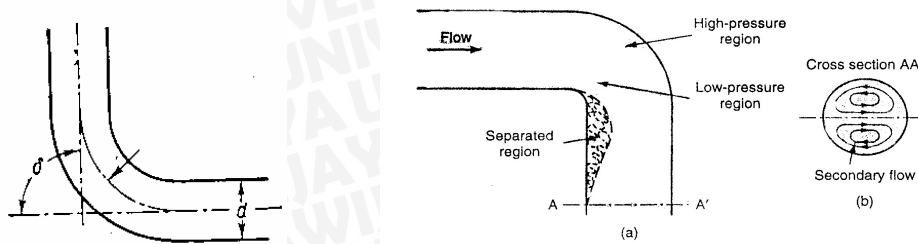
Losses yang terjadi pada belokan disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*/pusaran ganda). Ketika fluida bergerak pada belokan saluran, muncul gaya sentrifugal yang bekerja pada partikel-partikel fluida.



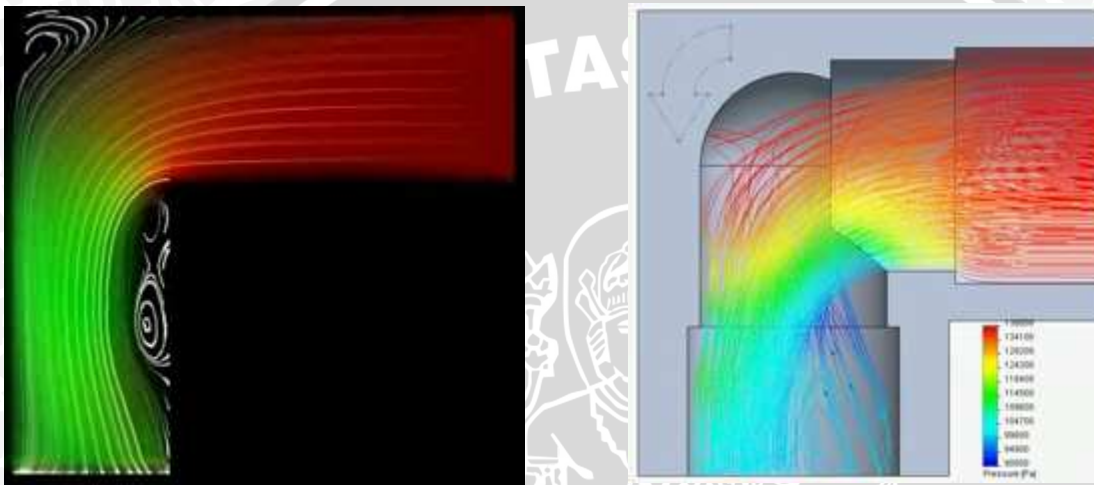
Gambar 2.11 : Profil aliran melewati belokan

Sumber : Nekrasov, 1960:117

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 2.12 : Aliran sekunder pada belokan pipa
 Sumber : Nekrasov, 1960:114



Gambar 2.13 : Belokan circular 90°
 Sumber : www.YouTube - Kolanko_1.flv_000007560.com

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

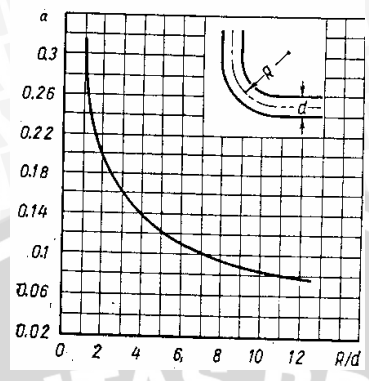
$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1960: 61}) \quad (2-12)$$

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

Perumusan koefisien kerugian belokan pada pipa *circular* (Abramovich dalam Nekrasov 1990) :

$$\zeta_{\text{bend}} = 0,73 abc \quad (\text{Nekrasov, 1960:115}) \quad (2-13)$$

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

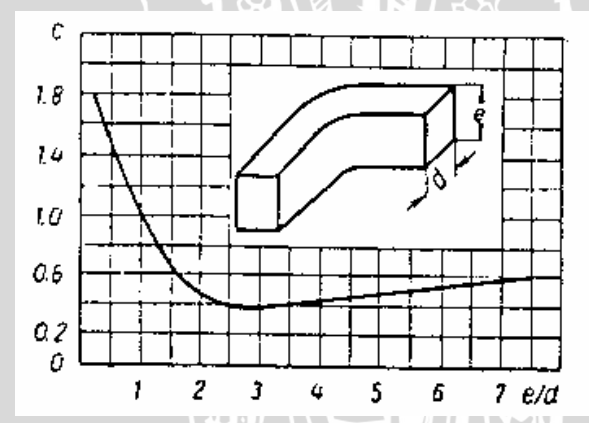


Gambar 2.14 : Grafik hubungan ($\frac{R}{a}$) terhadap nilai a

Sumber : Nekrasov, 1960:115

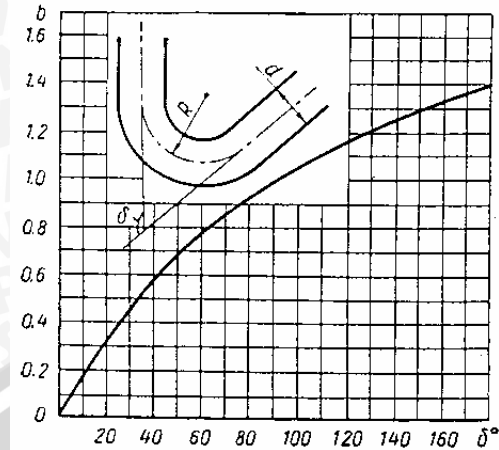
b = fungsi dari sudut belokan (δ)

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



Gambar 2.15 : Grafik hubungan ($\frac{e}{d}$) terhadap nilai c

Sumber : Nekrasov, 1960:116

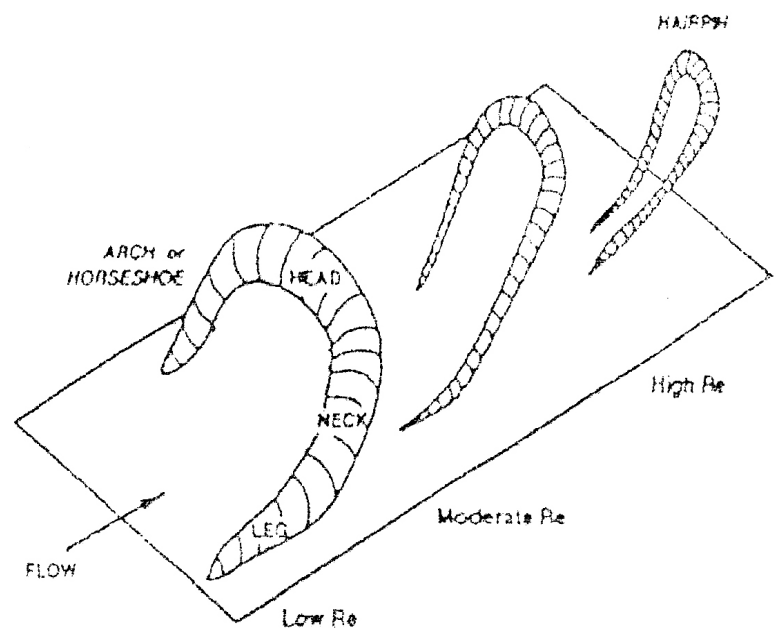


Gambar 2.16 : Grafik hubungan (δ) terhadap nilai b
 Sumber : Nekrasov, 1960:116

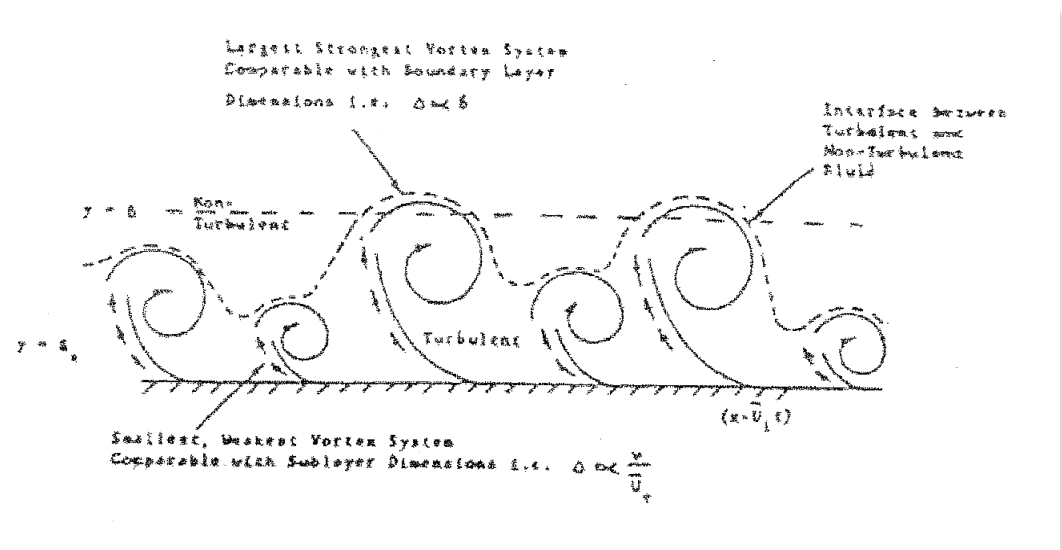
2.7 Vortex

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Gerakan partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran (Potter, 1997). Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortex-vortex* pada fluida tersebut.

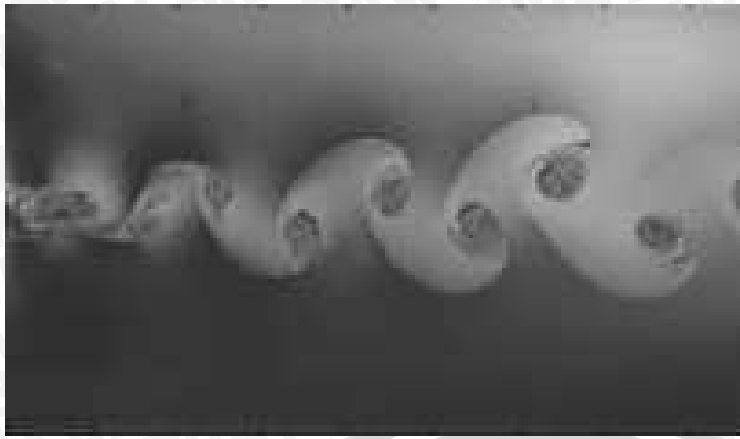
Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut harga bilangan *Reynold*-nya. Pada bilangan *Reynold* yang rendah, *vortex* berbentuk seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan *Reynold*-nya maka *vortex* akan semakin meruncing. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi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



Gambar 2.17 : Geometri *Vortex* menurut besar bilangan *Reynolds*
 Sumber : Robinson, 1991 : 607



Gambar 2.18 : *Vortex* 2 dimensi
 Sumber : Robinson, 1991 : 619



Gambar 2.19 : *Vortex* 2 dimensi

Sumber : www.YouTube - Re3600_norm.avi.flv_000002120.com

2.8 Flow Conditioner

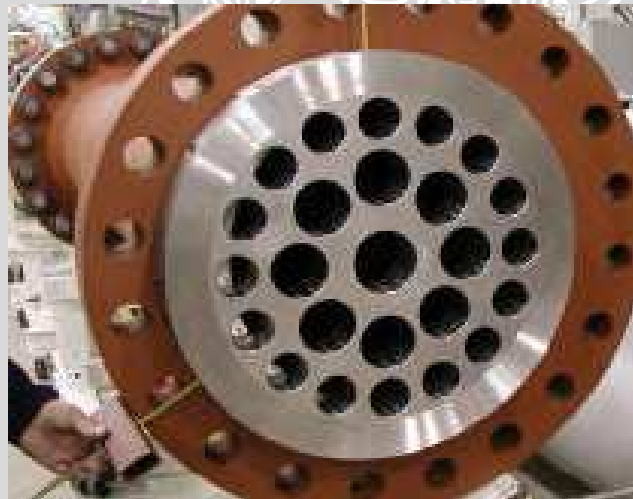
Flow conditioner adalah suatu alat yang dapat mengurangi gangguan-gangguan yang terjadi pada aliran pada suatu instalasi perpipaan sehingga dapat mengurangi turbulensi. *Flow conditioner* mempunyai kemampuan untuk mengisolasi gangguan-gangguan aliran yang disebabkan oleh belokan, katup, perubahan luas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

Karena *flow conditioner* bisa menghilangkan 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,. Di lain pihak pemasangan *flow conditioner* pada instalasi perpipaan sendiri juga dapat menyebabkan *pressure drop* setelah aliran meninggalkan belokan. Namun, demi menghindari resiko bahaya yang lebih besar, beberapa industri seperti kilang minyak, *pressure drop* yang ditimbulkan akibat pemasangan *flow conditioner* cenderung diabaikan. Karena tujuan yang ingin dicapai lebih kepada mengurangi kerugian akibat kavitasi, bocornya dinding akibat pengikisan maupun getaran yang terdapat pada belokan pipa. Karena jika kerugian tersebut tidak diatasi akan menimbulkan bahaya yang lebih besar, seperti bocornya instalasi pipa maupun meledaknya instalasi pada kilang minyak tersebut.

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

2.8.1. Plat Perforasi

Plat 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 (Ziqiong, Shao, 2001: 1). Plat 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. Plat perforasi dapat menahan kecepatan aliran yang tinggi saat melewati belokan sehingga separasi dan aliran sekunder dapat dikurangi, disamping itu dengan adanya plat perforasi aliran akan seragam dan akan cepat mantap.



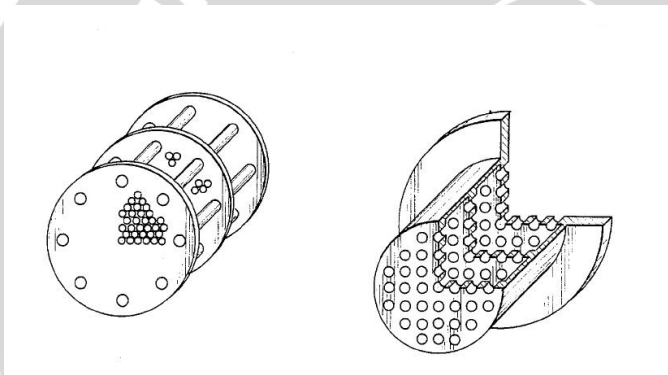
Gambar 2.20 : Plat perforasi

Sumber : www.cpcal.com

Gambar 2.121 dan 2.13 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/ hilang, ditunjukkan dengan profil aliran yang laminar dimana garis-garis aliran fluida tidak berpotongan satu sama lain.

Kombinasi Plat perforasi

Alat ini merupakan gabungan dari dua jenis *flow conditioner* yang dipasang pada penampang melintang pipa. Alat ini diharapkan dapat mengakumulasi manfaat dari masing-masing *flow conditioner*. Telah disebutkan di atas bahwa plat perforasi memiliki kemampuan untuk merubah aliran menjadi lebih seragam dan stabil. *profile device* yang terdapat pada masing-masing pelat perforasi berfungsi untuk menstabilkan aliran sehingga aliran dapat lebih cepat mencapai kondisi *fully developed*. Sehingga aliran yang kurang dapat dikondisikan pada pelat perforasi pertama diharapkan dapat lebih terkondisikan dengan baik pada pelat perforasi yang kedua. Kekurangan dari penggunaan kombinasi pelat perforasi ini adalah penurunan tekanan yang dihasilkan setelah aliran melewati kombinasi pelat perforasi lebih besar.



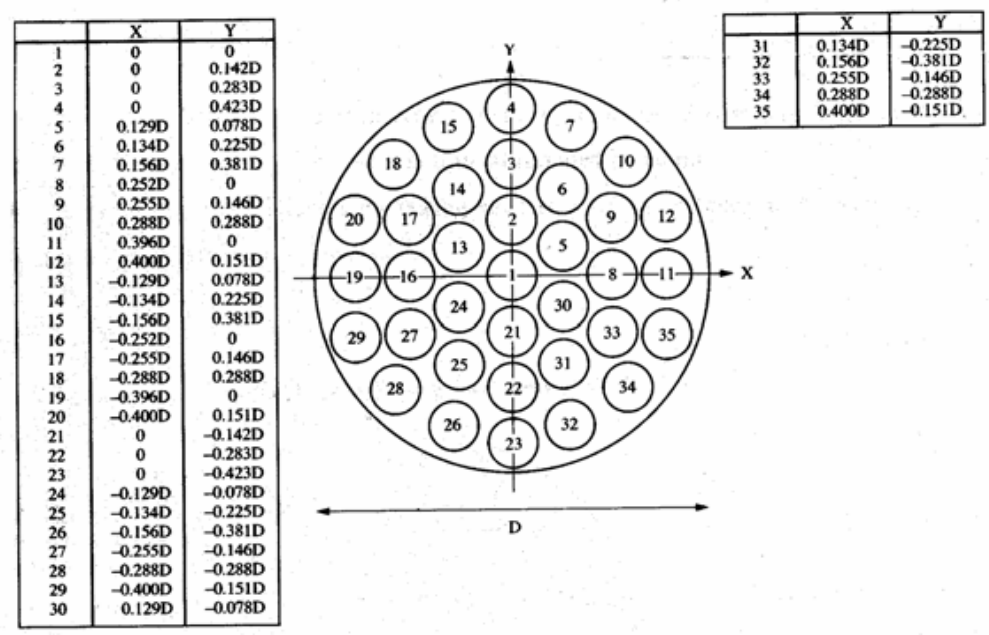
Gambar 2.21 :Contoh kombinasi pelat perforasi

Sumber : *Jurnal Perforated Plate*. US Patent
5529093

2.8.2 Jenis Plat Perforasi

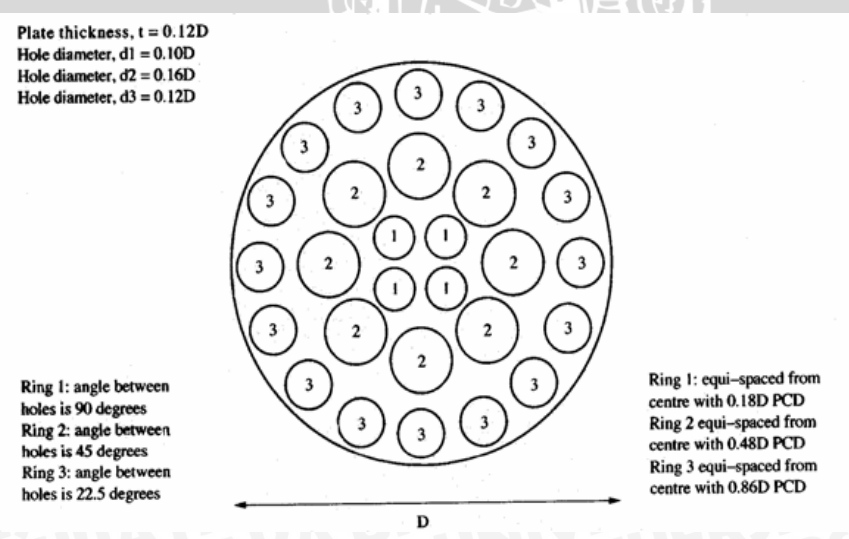
Plat perforasi/ *perforated plate flow conditioner* banyak macamnya, jenis plat yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

1. MHI (Mitsubishi Heavy Industries) conditioner



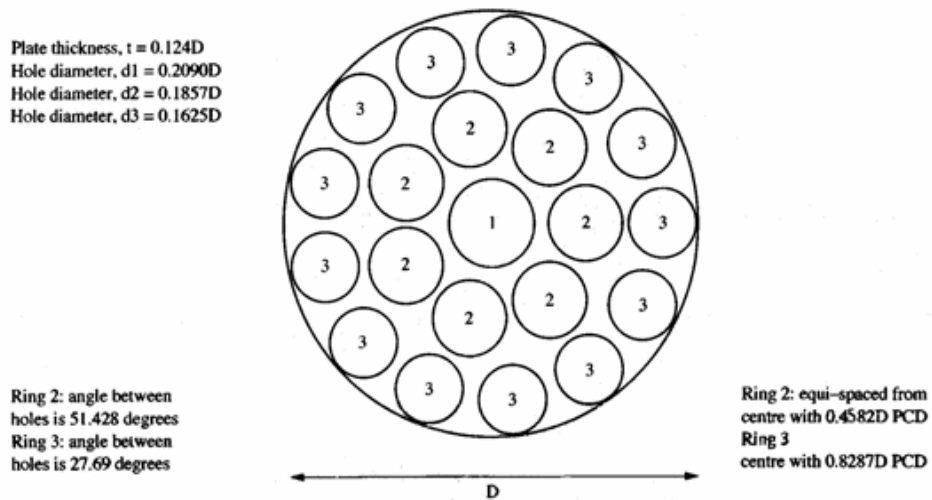
Gambar 2.22 : MHI Conditioner
 Sumber : Shao, 2001:22

2. The Sparmen (NEL) conditioner



Gambar 2.23 : The Sparmen (NEL) Conditioner
 Sumber : Shao. 2001: 23

3. *The Laws conditioner*



Gambar 2.24 : *The Laws Conditioner*
 Sumber : Shao . 2001: 22

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

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

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\alpha/n} \cdot D \quad (\text{Shao . 2001: 27}) \quad (2-13)$$

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

- 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.
- α = porositas (%)

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

adalah membahas plat perforasi jenis *Laws Conditioner* yaitu dengan model 1-6-14 dan model 1-7-13.

2.9 Hipotesis

Semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi dari sisi keluaran belokan pipa akan semakin berpeluang terbentuknya *twin eddy* berprofil lingkaran, sehingga nilai parameter c menjadi minimum disertai dengan nilai kerugian *head* belokan lebih kecil yang menyebabkan penurunan tekanan pada belokan pipa juga semakin berkurang.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*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

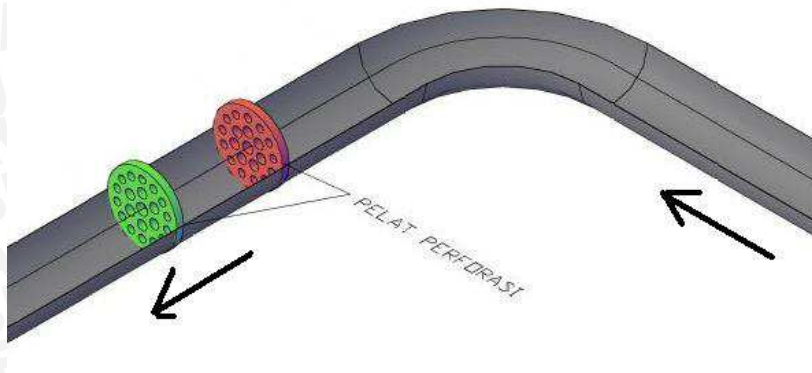
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tanggal 21-22 Desember 2009.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas dalam penelitian adalah tanpa Pelat perforasi, variasi jarak pelat perforasi model 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 divariasikan sejauh 3D, 4D, 5D dan 6D setelah belokan.
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 dalam penelitian ini adalah 1000 liter/jam, 1100 liter/jam, 1200 liter/jam, 1400 liter/jam, 1500 liter/jam, 1600 liter/jam, 1700 liter/jam, 1800 liter/jam, 1900 liter/jam, 2000 liter/jam



Gambar 3.1 : Peletakan Kombinasi Pelat Perforasi
 Sumber : Dokumentasi pribadi

3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

Alat 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 inchi.

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 3.2 :Rotameter
Sumber :Dokumentasi pribadi

5. Katup (*valve*)

Digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui jaringan pipa.

6. Manometer

Manometer yang digunakan adalah manometer yang berfungsi untuk mengukur penurunan tekanan pada fluida yang mengalir yang terjadi di antara sebelum belokan pipa, setelah belokan pipa, dan setelah pelat perforasi.



Gambar 3.3 :manometer
Sumber :Dokumentasi pribadi

7. Pelat Perforasi

➤ Pelat perforasi model 1-6-14

- Jumlah total lubang adalah 22 buah dengan susunan jumlah lubang 1; 6; 14
- Porositas dari plat diambil 50 %, sehingga diameter lubang pada plat menurut teori Elder adalah:

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

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

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

➤ Pelat perforasi model 1-7-13

- Jumlah total lubang adalah 22 buah dengan susunan jumlah lubang 1; 7; 13
- Porositas dari plat diambil 50 %, sehingga diameter lubang pada plat menurut teori Elder adalah:

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

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \cdot D = 0,6238 \times \sqrt{\frac{0,5}{7}} \times 27 \text{ mm} = 4,501 \approx 4,5 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0,734 \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{m}} \cdot D = 0,734 \times \sqrt{\frac{0,5}{13}} \times 27\text{mm} = 3,886 \approx 3,5\text{mm}$$

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

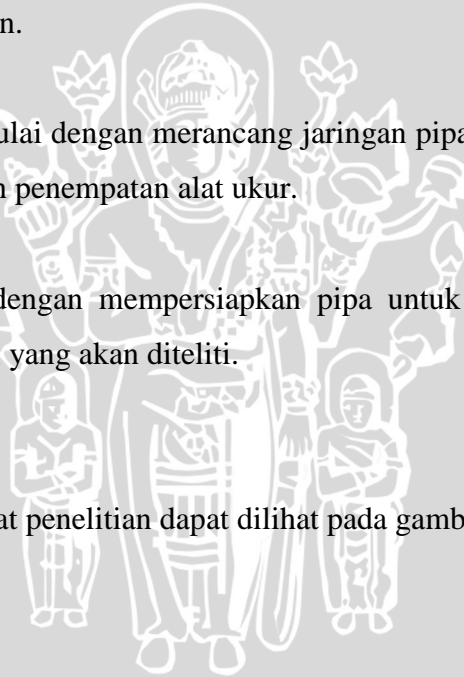
Perancangan instalasi dimulai dengan merancang jaringan pipa, penempatan pelat perforasi pada pipa uji, dan penempatan alat ukur.

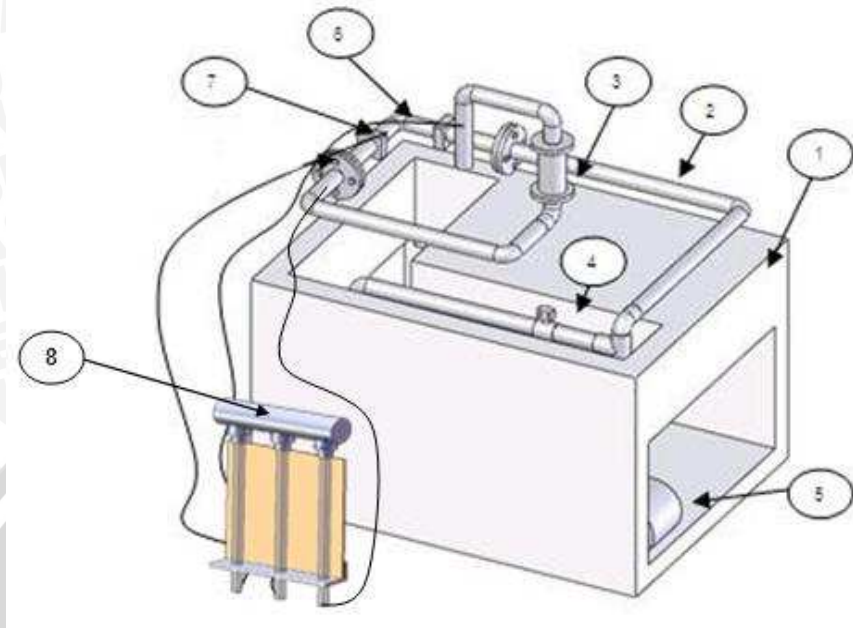
4. Pembuatan Alat

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 3.4. 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

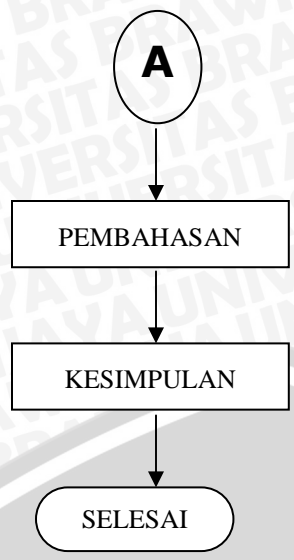
Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan instalasi jaringan pipa dengan belokan pipa yang memiliki *flow conditioner* berupa kobinasi pelat perforasi 1-6-14 dan 1-7-13 dengan jarak

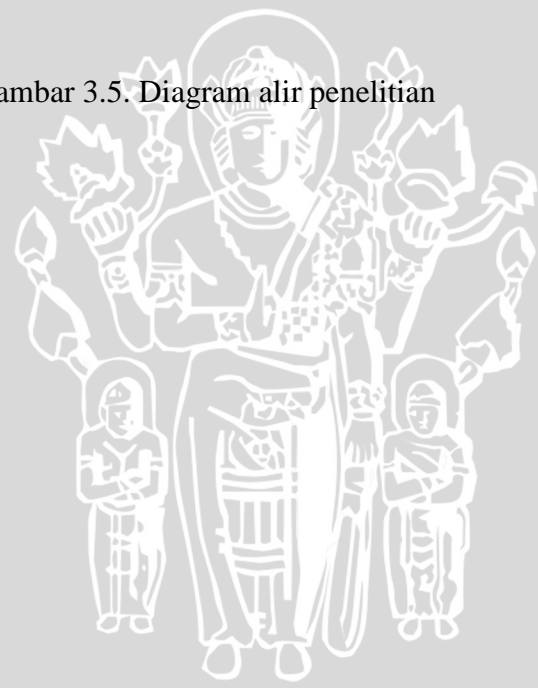
- peletakan yang telah ditentukan sebagai variabel terkontrol. Pastikan instalasi pipa tidak bocor.
2. Menutup katup / keran pengatur debit kemudian mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa dengan menyalakan pompa.
 3. Mengatur *head* pompa hingga rotameter menunjukkan debit 2000 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.
 5. Pengambilan data dilakukan kembali dengan kenaikan debit 100 liter/jam setiap tahap sampai dengan debit 2000 liter/jam.
 6. Menghentikan aliran yang mengalir pada instalasi dengan mematikan pompa
 7. Mengganti pipa uji dengan pipa uji lain yang diuji selanjutnya.
 8. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 7 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 Penelitian





Gambar 3.5. Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari Kecepatan, 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 $\frac{liter}{jam}$

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

- Densitas (ρ) = 997.54 $\frac{Kg}{m^3}$
- Viskositas kinematik (ν) = 0,941.10⁻⁶ $\frac{m^2}{s}$

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*)

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \cdot (31,75)^2 \\
 &= 791,3290625 \text{ mm}^2 = 7,913290625 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Kecepatan aliran fluida (V)

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

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

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

- Bilangan *Reynold* (Re)

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

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

$$= 11843,89339$$

- Kerugian *Head* (ΔH)

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

- Penurunan Tekanan (ΔP)

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

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

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

$$= 88,0728066 \text{Pa}$$

4.2 Data Hasil Perhitungan

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

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 ³ /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. Penurunan Tekanan (ΔP)

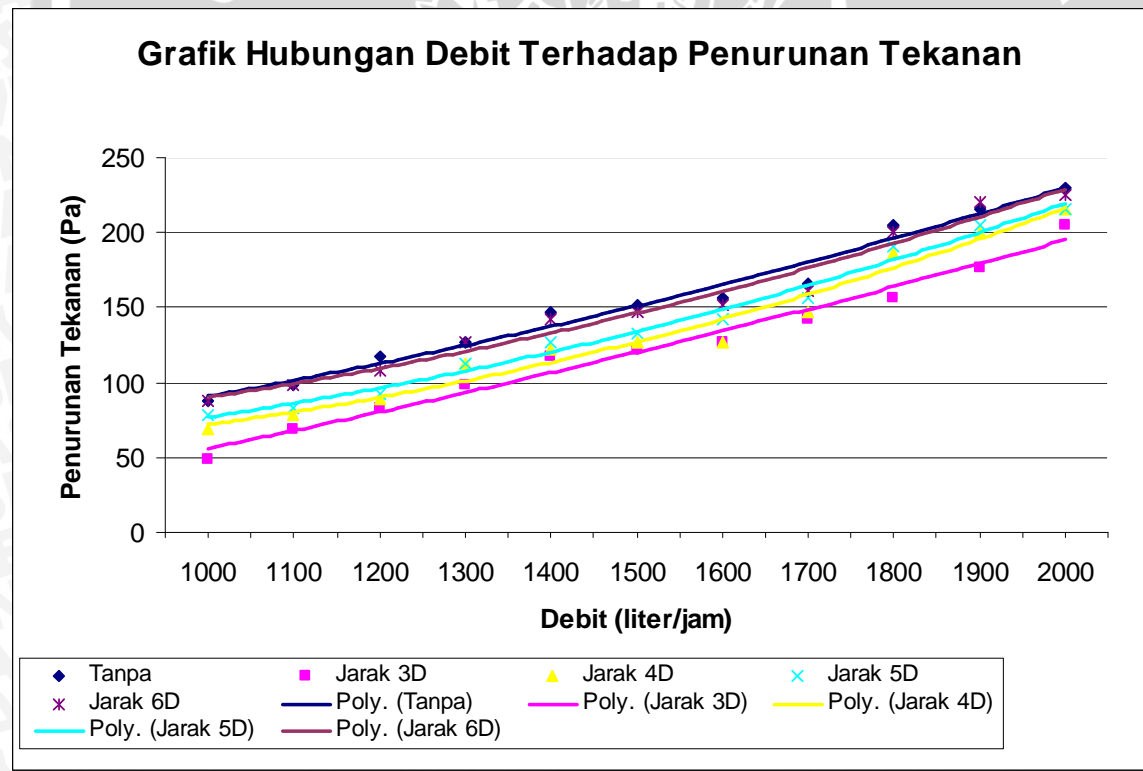
Tabel 4.2 Penurunan Tekanan

Debit	Penurunan Tekanan (Pa)				
	Tanpa	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D	Jarak 6D
1000	88.07281	48.929337	68.50107	78.28694	88.07281
1100	97.85867	68.5010718	78.28694	83.17987	97.85867
1200	117.4304	83.1798729	89.05139	92.96574	107.6445
1300	127.2163	97.858674	112.5375	112.5375	127.2163
1400	146.788	117.4304088	122.3233	127.2163	141.8951
1500	151.6809	122.3233425	127.2163	132.1092	146.788
1600	156.5739	127.2162762	127.2163	141.8951	151.6809
1700	166.3597	141.8950773	146.788	156.5739	161.4668
1800	205.5032	156.5738784	185.9315	190.8244	200.6103
1900	215.2891	176.1456132	200.6103	205.5032	220.182
2000	229.9679	205.5032154	215.2891	215.2891	225.075

3. Kerugian Head (ΔH)

Debit	Kerugian Head (m)				
	Tanpa	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D	Jarak 6D
1000	0.011	0.081	0.089	0.092	0.097
1100	0.012	0.099	0.104	0.111	0.115
1200	0.014	0.127	0.129	0.135	0.134
1300	0.015	0.142	0.146	0.157	0.165
1400	0.017	0.163	0.165	0.164	0.177
1500	0.017	0.178	0.183	0.189	0.201
1600	0.018	0.218	0.218	0.224	0.238
1700	0.020	0.237	0.250	0.266	0.277
1800	0.024	0.272	0.277	0.294	0.303
1900	0.025	0.298	0.303	0.313	0.319
2000	0.029	0.326	0.327	0.345	0.363

4.3 Analisa Grafik Hubungan antara variasi Debit terhadap Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa



Gambar 4.1 : Grafik hubungan antara debit terhadap penurunan tekanan

Gambar 4.1 di atas menunjukkan grafik hubungan antara debit terhadap penurunan tekanan pada suatu fluida yang mengalir melewati belokan tanpa pemasangan pelat perforasi, serta belokan dengan pemasangan pelat perforasi model 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 divariasikan sejauh 3D, 4D, 5D dan 6D setelah belokan.

Grafik tersebut menunjukkan kecenderungan yang sama, dimana penurunan tekanan (ΔP) terhadap aliran debit pada belokan dengan variasi jarak peletakan pelat perforasi 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 divariasikan sejauh 3D, 4D, 5D dan 6D setelah belokan semakin besar dengan bertambahnya debit. Pada grafik belokan pipa tanpa pelat perforasi pada debit 1000 liter/jam penurunan tekanan (ΔP) yang terjadi sebesar 88,0728066 Pa. Penurunan tekanan (ΔP) ini akan terus meningkat dengan bertambahnya debit, dimana pada debit maksimum yaitu 2000 liter/menit akan menghasilkan penurunan tekanan (ΔP) yang terbesar yaitu 229,9678839 Pa. Pada grafik 4.1 belokan pipa dengan variasi jarak peletakan pelat perforasi juga menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin besar bilangan debit, maka penurunan tekanan (ΔP) yang terjadi semakin besar.

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya pemasangan pelat perforasi pada belokan pipa dapat mengurangi penurunan tekanan (ΔP). Semakin dekat jarak pelat perforasi terhadap belokan pipa menghasilkan penurunan tekanan (ΔP) yang semakin kecil, dimana penurunan tekanan yang paling kecil terjadi pada jarak 3D dari hilir.

Ketika fluida melewati belokan mengalami penurunan tekanan atau *pressure drop* sehingga terdapat beda tekanan pada *input* belokan dan *output* belokan $\Delta p = P_{in} - P_{out}$. Penurunan tekanan berarti penurunan *head* statis fluida, hal ini terjadi karena *head* total fluida berkurang karena adanya *losses* ketika fluida melewati belokan, baik *losses* akibat *vortex* yang terbentuk karena adanya gaya sentrifugal yang bekerja pada fluida ketika melewati belokan maupun *twin eddy* yang terbentuk setelah fluida melewati belokan. Persamaan *head* untuk *Head Static* $h = \frac{P}{\gamma}$, menunjukkan bahwa hubungan

antara *head* dan tekanan adalah sebanding. Dengan demikian, beda tekanan maupun kerugian *head* yang diperoleh melalui pengukuran bagian hulu dan hilir belokan juga memiliki kecenderungan yang sama seiring dengan meningkatnya bilangan Reynold pada aliran fluida. Jika *head velocity* fluida diasumsikan konstan, karena beracuan pada hukum kontinuitas fluida, yakni massa fluida yang mengalir sepanjang *stream tube* adalah

konstan $A_1.V_1 = A_2.V_2$, maka penurunan *head total* fluida akan menurunkan *head statis* fluida, hal ini sesuai dengan persamaan energi untuk fluida real:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho.g} + \alpha_1 \frac{V_{m1}^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho.g} + \alpha_2 \frac{V_{m2}^2}{2.g} + \sum h$$

Dari grafik diatas yang berisi grafik hubungan kerugian debit dengan penurunan tekanan dapat disimpulkan bahwa baik fluida yang melewati belokan dengan penambahan pelat perforasi maupun tanpa penambahan pelat perforasi akan menyebabkan semakin meningkatnya penurunan tekanan (ΔP). Hal ini terjadi karena ketika debit meningkat sebanding dengan meningkatnya bilangan *Reynold* fluida namun dengan viskositas fluida tetap, energi kinetis fluida yang berpotensi menyebabkan pergerakan partikel antar lapisan fluida meningkat sedangkan viskositas yang berperan meredam pergerakan tersebut tetap konstan

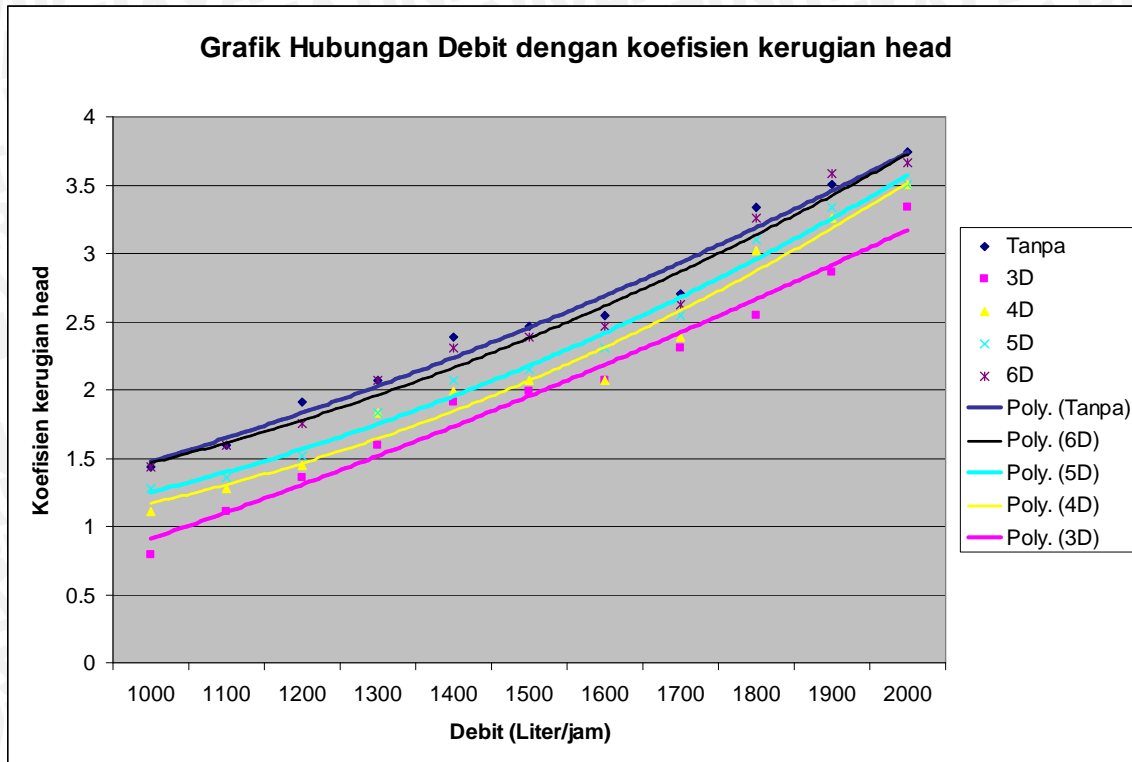
$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{V.D}{\nu}$$

Sehingga meningkatnya bilangan *Reynold* intensitas turbulensi fluida dan juga *vortex* yang dihasilkan ketika fluida melewati belokan akan meningkat. Meningkatnya intensitas turbulensi sehingga *vortex* dan *twin eddy* yang berprofil elips pada aliran fluida meningkat dan mengakibatkan kehilangan energi pada fluida semakin besar.

Semakin meningkatnya penurunan tekanan (ΔP) dengan semakin bertambahnya jarak peletakan pelat perforasi disebabkan karena dengan semakin jauh jarak peletakan pelat perforasi pada belokan pipa maka pemisahan aliran fluida (separasi) dan *vortex* yang terbentuk lebih besar sehingga penurunan tekanan (ΔP) yang dihasilkan akan semakin besar. sehingga akan mengakibatkan terbentuknya *vortex* maupun *twin eddy* yang tidak berprofil lingkaran. Hal ini sesuai dengan persamaan tentang kerugian belokan $\zeta_{\text{bend}} = 0,73.a.b.c$; dimana semakin profil *twin eddy* mendekati lingkaran dapat diartikan pula bahwa parameter *side ratio* (c) semakin mendekati 1 yang merupakan nilai minimum *side ratio* sehingga menghasilkan koefisien kerugian yang lebih kecil.

koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) minimum; $\zeta_{\text{bend}} = \frac{h}{\frac{v^2}{2g}}$

4.4 Analisa Grafik Hubungan antara variasi Debit terhadap Koefisien Kerugian Head pada Belokan Pipa



Gambar 4.2 : Grafik hubungan antara debit terhadap koefisien kerugian head

Pada Gambar 4.2 diatas menunjukkan grafik hubungan antara beda debit terhadap koefisien kerugian head pada belokan pipa. Dari gambar 4.2 tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan semakin besar debit maka menyebabkan koefisien kerugian head pada belokan pipa meningkat. Untuk peletakan pelat dengan jarak 3D koefisien kerugian head terendah terjadi pada debit yang paling kecil yaitu 1000 (Liter/Jam) sebesar 0,795 sedangkan koefisien kerugian head yang paling besar terjadi pada debit yang paling besar yaitu pada debit 2000 (Liter/Jam) dengan koefisien kerugian head 1,431 . Hal terjadi karena dengan semakin besar debit yang mengalir maka daerah pemisahan aliran fluida (separasi) dan beda tekanan (Δp) yang terjadi semakin besar sehingga kerugian *head*-nya juga semakin besar. Hal itu sesuai dengan persamaan 2.11:

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

Hal ini sesuai dengan teori, dimana semakin besar debit yang mengalir maka kecepatan aliran fluida semakin besar sehingga kerugian head yang terjadi juga semakin besar sesuai dengan persamaan $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H$. Peningkatan H sebanding dengan penurunan tekanan. Sedangkan kerugian head (H) yang disebabkan oleh *minor losses*

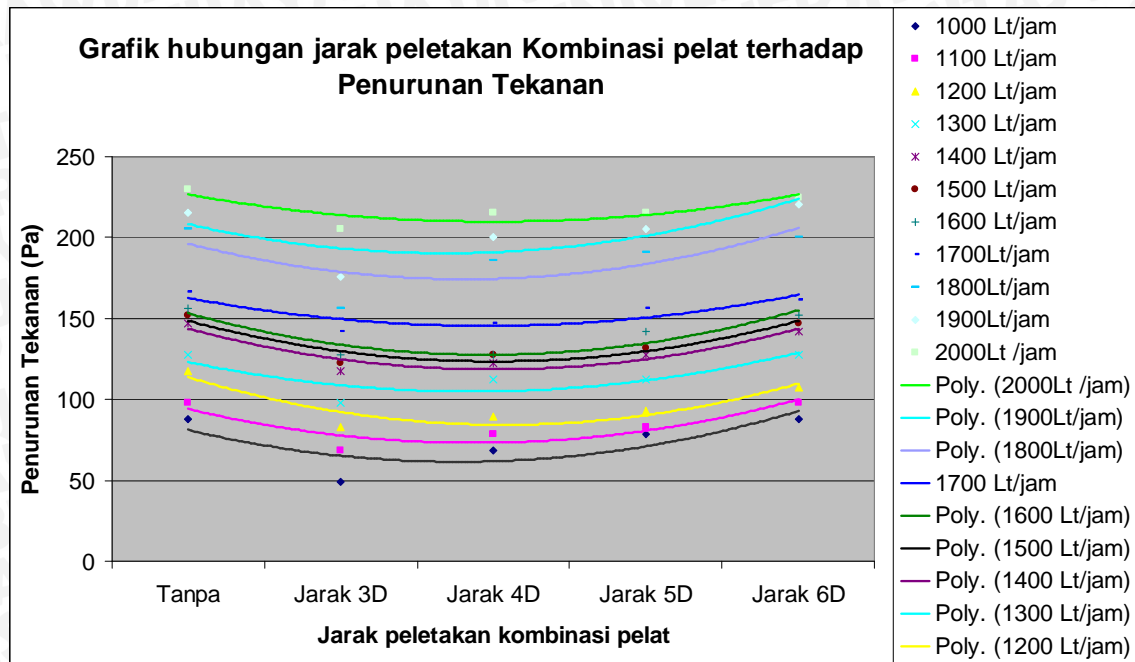
sesuai dengan persamaan 2.11 adalah $h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$

Maka semakin besar debit akan menyebabkan peningkatan koefisien kerugian head.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin dekat jarak pelat perforasi terhadap belokan pipa maka menghasilkan koefisien kerugian head yang semakin kecil, dimana ξ yang paling kecil terjadi pada debit yang paling rendah. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik 4.2 diatas bahwa pada debit 1000 (Liter/Jam) ξ yang terjadi untuk belokan dengan jarak peletakan 3D, 4D, 5D, 6D secara berurut 0,8;1,1 ; 1,3 ; dan 1,4, sedangkan untuk debit yang paling besar 2000 (Liter/Jam) ξ yang terjadi 3,3 ; 3,5 ; 3,5 ; 3,7.

Kenaikan ξ dengan bertambahnya jarak peletakan pelat perforasi terjadi pada setiap variasi terhadap belokan pipa, karena akan memberikan kesempatan waktu yang lebih lama untuk terbentuknya separasi sehingga *vortex* yang terbentuk pada sisi hilir akan lebih besar. Secara teoritis waktu yang lebih lama pembentuk sparasi dikarenakan jarak yang ditempuh fluida semakin besar pada kecepatan yang tetap (v). Hal ini menunjukkan semakin besar jarak maka waktu yang digunakan untuk terbentuknya *vortex* semakin besar sehingga semakin bertambahnya jarak peletakan pelat perforasi maka beda tekanan ξ akan meningkat.

4.5 Analisa Grafik Hubungan antara variasi Jarak Kombinasi Pelat terhadap Penurunan Tekanan pada Belokan Pipa



Gambar 4.3 : Grafik hubungan antara jarak peletakan kombinasi pelat terhadap penurunan tekanan

Pada Gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik hubungan jarak peletakan kombinasi pelat dengan penurunan pada belokan pipa. Dari gambar 4.2 tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan semakin besar debit maka menyebabkan beda tekanan pada belokan pipa meningkat. Untuk peletakan *tube bundle* dengan jarak 3D beda tekanan (Δp) terendah terjadi pada debit yang paling kecil yaitu 1000 (Liter/Jam) sebesar 48,929Pa, diikuti dengan debit 1100 (Liter/Jam) sebesar 68,501Pa, kemudian diikuti debit 1200 (Liter/Jam) yang mempunyai beda tekanan sebesar 83,179Pa, sedangkan beda tekanan yang paling besar terjadi pada debit yang paling besar yaitu pada debit 2000 (Liter/Jam) dengan beda tekanan (ΔP) 205,503Pa. Hal ini sesuai dengan teori, dimana semakin besar debit yang mengalir maka kecepatan aliran fluida semakin besar sehingga beda tekanan (Δp) yang terjadi juga semakin besar. Hal itu sesuai dengan persamaan 2.11 dimana

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

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi terhadap belokan pipa maka menghasilkan beda tekanan (Δp) yang semakin kecil, dimana beda tekanan yang paling kecil terjadi pada debit yang paling rendah. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik 4.2 diatas bahwa pada debit 1000 (Liter/Jam) penurunan tekanan yang terjadi untuk belokan dengan jarak peletakan 3D, 4D, 5D, 6D secara berurut 48,929Pa, 68,501Pa, 78,287Pa, 88,072Pa, untuk debit 1100 (Liter/Jam) dengan jarak peletakan yang sama menunjukkan beda tekanan (Δp) 68,501Pa, 78,287Pa, 83,180Pa, 97,859Pa, untuk debit 1200 (Liter/Jam) beda tekanan yang terjadi 83,180Pa, 89,051Pa, 92,966Pa, 107,644Pa, sedangkan untuk debit yang paling besar 2000 (Liter/Jam) beda tekanan yang terjadi 205,503Pa, 215,290Pa, 215,290Pa, 225,075Pa.

Kenaikan beda tekanan dengan bertambahnya jarak peletakan pelat perforasi terjadi pada setiap variasi terhadap belokan pipa, karena akan memberikan kesempatan waktu yang lebih lama untuk terbentuknya separasi sehingga *vortex* yang terbentuk pada sisi hilir akan lebih besar. Secara teoritis waktu yang lebih lama pembentuk sparasi dikarenakan jarak yang ditempuh fluida semakin besar pada kecepatan yang tetap (v). Hal ini menunjukkan semakin besar jarak maka waktu yang digunakan untuk terbentuknya *vortex* semakin besar sehingga semakin bertambahnya jarak peletakan pelat perforasi maka beda tekanan (Δp) akan meningkat.

Hal itu disebabkan karena semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya debit aliran. Turbulensi 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.

Aliran fluida yang melewati belokan tanpa pelat perforasi menghasilkan ΔP yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan pelat perforasi

Hilangnya energi pada aliran ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Ketika fluida bergerak pada belokan, 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 pada dinding. Akibatnya muncul *vortex* atau *swirl* yang menyebabkan rotasi fluida dan menghasilkan aliran sekunder. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kehilangan energi akan mengakibatkan penurunan tekanan pada fluida, akibat adanya *losses* ketika fluida melewati belokan yang disebabkan oleh adanya aliran sekunder (*twin eddy*/pusaran ganda).

Pada gambar 14 di grafik, dapat dilihat bahwa semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi memberikan peluang terbentuknya *twin eddy* yang memiliki profil lingkaran akan semakin besar. Karena itu, semakin profil *twin eddy* mendekati lingkaran, *head losses* yang terjadi juga semakin kecil. Semakin kecil *head losses* maka semakin kecil pula koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}). Jika dihubungkan dengan rumusan *Abramovich* $\zeta_{\text{bend}}=0,73.a.b.c$; semakin profil *twin eddy* mendekati lingkaran dapat diartikan pula bahwa *side ratio* (*c*) semakin mendekati 1 yang merupakan nilai optimum *side ratio* untuk menghasilkan koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) minimum;

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

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

- 1) Semakin dekat jarak peletakan pelat perforasi dari sisi keluaran belokan pipa menyebabkan penurunan tekanan pada belokan pipa juga semakin berkurang.
- 2) Penurunan tekanan terkecil yaitu 792,7 Pa didapat pada peletakan pelat perforasi 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 sejauh 3D setelah belokan pada debit air sebesar 1000 L/jam
- 3) Penurunan tekanan terbesar yaitu 949,2 Pa didapat pada peletakan pelat perforasi 1-6-14 sejauh 2D dan 1-7-13 sejauh 5D setelah belokan pada debit air sebesar 2000 L/jam.

5.2 Saran

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

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan berbagai variasi fluida yang lain yaitu fluida *compressible*.
2. Perlunya dilakukan perbandingan penurunan tekanan yang terjadi pada penggunaan beberapa *flow conditioner* yang berbeda-beda.
3. Perlunya dilakukan analisa mengenai visualisasi pola aliran fluida pada instalasi pipa sebelum dan setelah melewati pelat perforasi.
4. 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*.
5. 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.

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 tidak dipublikasikan; 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 Fluids*; 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.

Syamsuddin; 2008 : **Pengaruh peletakan pelat perforasi terhadap kerugian head pada belokan pipa**. Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.

White, Fank 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 tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



Lampiran 1

Tabel Properties Air (*Water*) dalam satuan SI

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

Lampiran 2

Tabel Hasil Pengambilan Data

Tabel Penurunan Tekanan (ΔP)

Dalam Satuan cm

jarak	Tanpa pelat perforasi		
	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.90	0.15	1.05
1100	1.00	0.15	1.15
1200	1.20	0.15	1.35
1300	1.30	0.15	1.45
1400	1.50	0.15	1.65
1500	1.55	0.15	1.70
1600	1.60	0.15	1.75
1700	1.70	0.30	2.00
1800	2.10	0.30	2.40
1900	2.20	0.30	2.50
2000	2.35	0.55	2.90

jarak	3D		
	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.50	7.60	8.10
1100	0.70	9.20	9.90
1200	0.85	11.80	12.65
1300	1.00	13.20	14.20
1400	1.20	15.10	16.30
1500	1.25	16.50	17.75
1600	1.30	20.50	21.80
1700	1.45	22.20	23.65
1800	1.60	25.60	27.20
1900	1.80	28.00	29.80
2000	2.10	30.50	32.60



jarak	4D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.70	8.20	8.90
1100	0.80	9.60	10.40
1200	0.91	12.00	12.91
1300	1.15	13.40	14.55
1400	1.25	15.20	16.45
1500	1.30	17.00	18.30
1600	1.30	20.50	21.80
1700	1.50	23.50	25.00
1800	1.90	25.80	27.70
1900	2.05	28.20	30.25
2000	2.20	30.50	32.70

jarak	5D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.80	8.40	9.20
1100	0.85	10.20	11.05
1200	0.95	12.50	13.45
1300	1.15	14.50	15.65
1400	1.30	15.10	16.40
1500	1.35	17.50	18.85
1600	1.45	20.90	22.35
1700	1.60	25.00	26.60
1800	1.95	27.40	29.35
1900	2.10	29.20	31.30
2000	2.20	32.30	34.50

jarak	6D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.90	8.80	9.70
1100	1.00	10.50	11.50
1200	1.10	12.30	13.40
1300	1.30	15.20	16.50
1400	1.45	16.20	17.65
1500	1.50	18.60	20.10
1600	1.55	22.20	23.75
1700	1.65	26.00	27.65
1800	2.05	28.20	30.25
1900	2.25	29.60	31.85
2000	2.30	34.00	36.30



Konversi cm-m

jarak debit	Tanpa pelat perforasi		
	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.009	0.0015	0.0105
1100	0.01	0.0015	0.0115
1200	0.012	0.0015	0.0135
1300	0.013	0.0015	0.0145
1400	0.015	0.0015	0.0165
1500	0.0155	0.0015	0.017
1600	0.016	0.0015	0.0175
1700	0.017	0.003	0.02
1800	0.021	0.003	0.024
1900	0.022	0.003	0.025
2000	0.0235	0.0055	0.029

jarak debit	3D		
	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.005	0.076	0.081
1100	0.007	0.092	0.099
1200	0.0085	0.118	0.1265
1300	0.01	0.132	0.142
1400	0.012	0.151	0.163
1500	0.0125	0.165	0.1775
1600	0.013	0.205	0.218
1700	0.0145	0.222	0.2365
1800	0.016	0.256	0.272
1900	0.018	0.28	0.298
2000	0.021	0.305	0.326

jarak debit	4D		
	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.007	0.082	0.089
1100	0.008	0.096	0.104
1200	0.0091	0.12	0.1291
1300	0.0115	0.134	0.1455
1400	0.0125	0.152	0.1645
1500	0.013	0.17	0.183
1600	0.013	0.205	0.218
1700	0.015	0.235	0.25
1800	0.019	0.258	0.277
1900	0.0205	0.282	0.3025
2000	0.022	0.305	0.327

jarak	5D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.008	0.084	0.092
1100	0.0085	0.102	0.1105
1200	0.0095	0.125	0.1345
1300	0.0115	0.145	0.1565
1400	0.013	0.151	0.164
1500	0.0135	0.175	0.1885
1600	0.0145	0.209	0.2235
1700	0.016	0.25	0.266
1800	0.0195	0.274	0.2935
1900	0.021	0.292	0.313
2000	0.022	0.323	0.345

jarak	6D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	0.009	0.088	0.097
1100	0.01	0.105	0.115
1200	0.011	0.123	0.134
1300	0.013	0.152	0.165
1400	0.0145	0.162	0.1765
1500	0.015	0.186	0.201
1600	0.0155	0.222	0.2375
1700	0.0165	0.26	0.2765
1800	0.0205	0.282	0.3025
1900	0.0225	0.296	0.3185
2000	0.023	0.34	0.363

Konversi m-Pa

jarak	Tanpa pelat perforasi		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	88.07281	14.6788	102.7516
1100	97.85867	14.6788	112.5375
1200	117.4304	14.6788	132.1092
1300	127.2163	14.6788	141.8951
1400	146.788	14.6788	161.4668
1500	151.6809	14.6788	166.3597
1600	156.5739	14.6788	171.2527
1700	166.3597	29.3576	195.7173
1800	205.5032	29.3576	234.8608
1900	215.2891	29.3576	244.6467
2000	229.9679	53.82227	283.7902



jarak	3D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	48.92934	743.7259224	792.6552594
1100	68.50107	900.2998008	968.8008726
1200	83.17987	1154.732353	1237.912226
1300	97.85867	1291.734497	1389.593171
1400	117.4304	1477.665977	1595.096386
1500	122.3233	1614.668121	1736.991464
1600	127.2163	2006.102817	2133.319093
1700	141.8951	2172.462563	2314.35764
1800	156.5739	2505.182054	2661.755933
1900	176.1456	2740.042872	2916.188485
2000	205.5032	2984.689557	3190.192772

jarak	4D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	68.50107	802.4411	870.9422
1100	78.28694	939.4433	1017.73
1200	89.05139	1174.304	1263.355
1300	112.5375	1311.306	1423.844
1400	122.3233	1487.452	1609.775
1500	127.2163	1663.597	1790.814
1600	127.2163	2006.103	2133.319
1700	146.788	2299.679	2446.467
1800	185.9315	2524.754	2710.685
1900	200.6103	2759.615	2960.225
2000	215.2891	2984.69	3199.979

jarak	5D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	78.28694	822.0129	900.2998
1100	83.17987	998.1585	1081.338
1200	92.96574	1223.233	1316.199
1300	112.5375	1418.951	1531.488
1400	127.2163	1477.666	1604.882
1500	132.1092	1712.527	1844.636
1600	141.8951	2045.246	2187.141
1700	156.5739	2446.467	2603.041
1800	190.8244	2681.328	2872.152
1900	205.5032	2857.473	3062.976
2000	215.2891	3160.835	3376.124



jarak	6D		
debit	p1-p2	p2-p3	p1-p3
1000	88.07281	861.1563	949.2291
1100	97.85867	1027.516	1125.375
1200	107.6445	1203.662	1311.306
1300	127.2163	1487.452	1614.668
1400	141.8951	1585.311	1727.206
1500	146.788	1820.171	1966.959
1600	151.6809	2172.463	2324.144
1700	161.4668	2544.326	2705.792
1800	200.6103	2759.615	2960.225
1900	220.182	2896.617	3116.799
2000	225.075	3327.195	3552.27

Tabel Hasil Pengambilan data P1-P2 dengan berbagai variasi jarak peletakan

Debit	Penurunan Tekanan (Pa)				
	Tanpa	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D	Jarak 6D
1000	88.07281	48.929337	68.50107	78.28694	88.07281
1100	97.85867	68.5010718	78.28694	83.17987	97.85867
1200	117.4304	83.1798729	89.05139	92.96574	107.6445
1300	127.2163	97.858674	112.5375	112.5375	127.2163
1400	146.788	117.4304088	122.3233	127.2163	141.8951
1500	151.6809	122.3233425	127.2163	132.1092	146.788
1600	156.5739	127.2162762	127.2163	141.8951	151.6809
1700	166.3597	141.8950773	146.788	156.5739	161.4668
1800	205.5032	156.5738784	185.9315	190.8244	200.6103
1900	215.2891	176.1456132	200.6103	205.5032	220.182
2000	229.9679	205.5032154	215.2891	215.2891	225.075

Tabel hasil perhitungan debit alir, kecepatan alir dan bilangan Reynold

Q (liter/jam)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	B. Reynold (Re)
1000	0.000278	0.351172918	1184.882054
1100	0.000306	0.386290209	1303.37026
1200	0.000333	0.421407501	1421.858465
1300	0.000361	0.456524793	1540.346671
1400	0.000389	0.491642085	1658.834876
1500	0.000417	0.526759376	1777.323082
1600	0.000444	0.561876668	1895.811287
1700	0.000472	0.59699396	2014.299493
1800	0.0005	0.632111252	2132.787698
1900	0.000528	0.667228543	2251.275903
2000	0.000556	0.702345835	2369.764109

Tabel hasil perhitungan Debit terhadap Kerugian Head

Debit	Kerugian Head (m)				
	Tanpa	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D	Jarak 6D
1000	0.009	0.005	0.007	0.008	0.009
1100	0.010	0.007	0.008	0.009	0.010
1200	0.012	0.009	0.009	0.010	0.011
1300	0.013	0.010	0.012	0.012	0.013
1400	0.015	0.012	0.013	0.013	0.015
1500	0.016	0.013	0.013	0.014	0.015
1600	0.016	0.013	0.013	0.015	0.016
1700	0.017	0.015	0.015	0.016	0.017
1800	0.021	0.016	0.019	0.020	0.021
1900	0.022	0.018	0.021	0.021	0.023
2000	0.024	0.021	0.022	0.022	0.023

Tabel hasil perhitungan Debit terhadap Koefisien Kerugian Head

Debit	Koefisien Kerugian Head				
	Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	1.431856	0.795476	1.113666	1.272761	1.431856
1100	1.590952	1.113666	1.272761	1.352309	1.590952
1200	1.909142	1.352309	1.447766	1.511404	1.750047
1300	2.068237	1.590952	1.829594	1.829594	2.068237
1400	2.386427	1.909142	1.98869	2.068237	2.30688
1500	2.465975	1.98869	2.068237	2.147785	2.386427
1600	2.545523	2.068237	2.068237	2.30688	2.465975
1700	2.704618	2.30688	2.386427	2.545523	2.62507
1800	3.340998	2.545523	3.022808	3.102356	3.261451
1900	3.500094	2.863713	3.261451	3.340998	3.579641
2000	3.738736	3.340998	3.500094	3.500094	3.659189