

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN *TUBE BUNDLE*
TERHADAP KERUGIAN *HEAD* PADA BELOKAN DENGAN
*PERFORATED PLATE***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

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



Disusun Oleh:

RINGGA MURGANA SETYADI

NIM. 0510620086-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN *TUBE BUNDLE* TERHADAP
KERUGIAN *HEAD* PADA BELOKAN DENGAN *PERFORATED PLATE***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**RINGGA MURGANA SETYADI
NIM. 0510620086-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

**Ir. I Made Gunadiarta, MT.
NIP. 19461001 197702 1 001**



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI JARAK PELETAKAN *TUBE BUNDLE* TERHADAP
KERUGIAN *HEAD* PADA BELOKAN DENGAN *PERFORATED PLATE***

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Disusun oleh :

**RINGGA MURGANA SETYADI
NIM. 0510620086**

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

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Jarak Peletakan *Tube Bundle* Terhadap Kerugian *Head* pada Belokan dengan *Perforated Plate*”

Atas selesainya skripsi ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M. Eng. dan bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT. selaku dosen pembimbing skripsi I dan II
2. Bapak Dr. H Slamet Wahyudi, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Bapak Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
4. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi
5. Kedua orang tuaku, nenek kakekku dan seluruh keluargaku yang selalu memberikan restunya kepadaku
6. Teman sekaligus penyemangat hidupku Nela GS yang selalu memberi motivasi untuk terus maju.
7. Teman-teman “Kelompok Special One” (Gus Irsyad + Bos Naib) dalam menyelesaikan skripsi ini
8. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya, juga bagi pembaca pada umumnya. Tak ada yang sempurna dalam setiap karya manusia karena setiap makhluk mempunyai kelebihan dan kekurangan. Oleh karena itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun agar skripsi ini lebih baik.

Malang, Februari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR SIMBOL	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Fluida	5
2.2.1 Definisi Fluida	5
2.2.2 Viskositas	5
2.3 Lapisan Batas/ <i>Boundary Layer</i>	7
2.4 Klasifikasi Fluida	8
2.4.1 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian	8
2.4.2 Fluida mampu mampat dan tak mampu mampat	9
2.5 Bilangan Reynold	10
2.6 Aliran Laminer dan Turbulen	10
2.7 <i>Fully Developed</i> (Berlangsung Mantap)	12
2.8 Persamaan Kontinuitas	13
2.9 Persamaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Ideal	14
2.10 Persamaan <i>Bernoulli</i> untuk Fluida Real	15

2.11	<i>Vortex</i>	16
2.12	<i>Head Losses</i>	17
2.13	<i>Minor Losses</i> pada belokan.....	19
2.14	<i>Flow conditioner</i>	23
2.14.1	<i>Perforated Plate</i>	20
2.14.2	Jenis <i>Perforated Plate</i>	24
2.14.3	<i>Tube Bundle</i>	26
2.14.4	Kombinasi <i>Perforated Plate – Tube Bundle</i>	31
2.15	Hipotesis.....	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Metodologi Penelitian	33
3.2	Tempat Penelitian	33
3.3	Prosedur Penelitian	33
3.4	Peralatan Penelitian	33
3.5	Instalasi Penelitian.....	37
3.6	Variabel Penelitian	37
3.7	Metode Pengambilan Data	38
3.8	Rancangan Penelitian	39
3.9	Diagram Alir Penelitian.....	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Hasil Penelitian	40
4.2	Pengolahan Data	40
4.3	Data Hasil Penelitian	42
4.4	Grafik Hasil Penelitian	45
4.4.1	Analisa Grafik Hubungan antara variasi jarak terhadap Kerugian <i>Head</i> (ΔH) pada belokan pipa	45
4.4.2	Analisa Grafik Hubungan antara variasi jarak terhadap Koefisien Kerugian <i>Head</i> (ζ) pada belokan pipa	48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



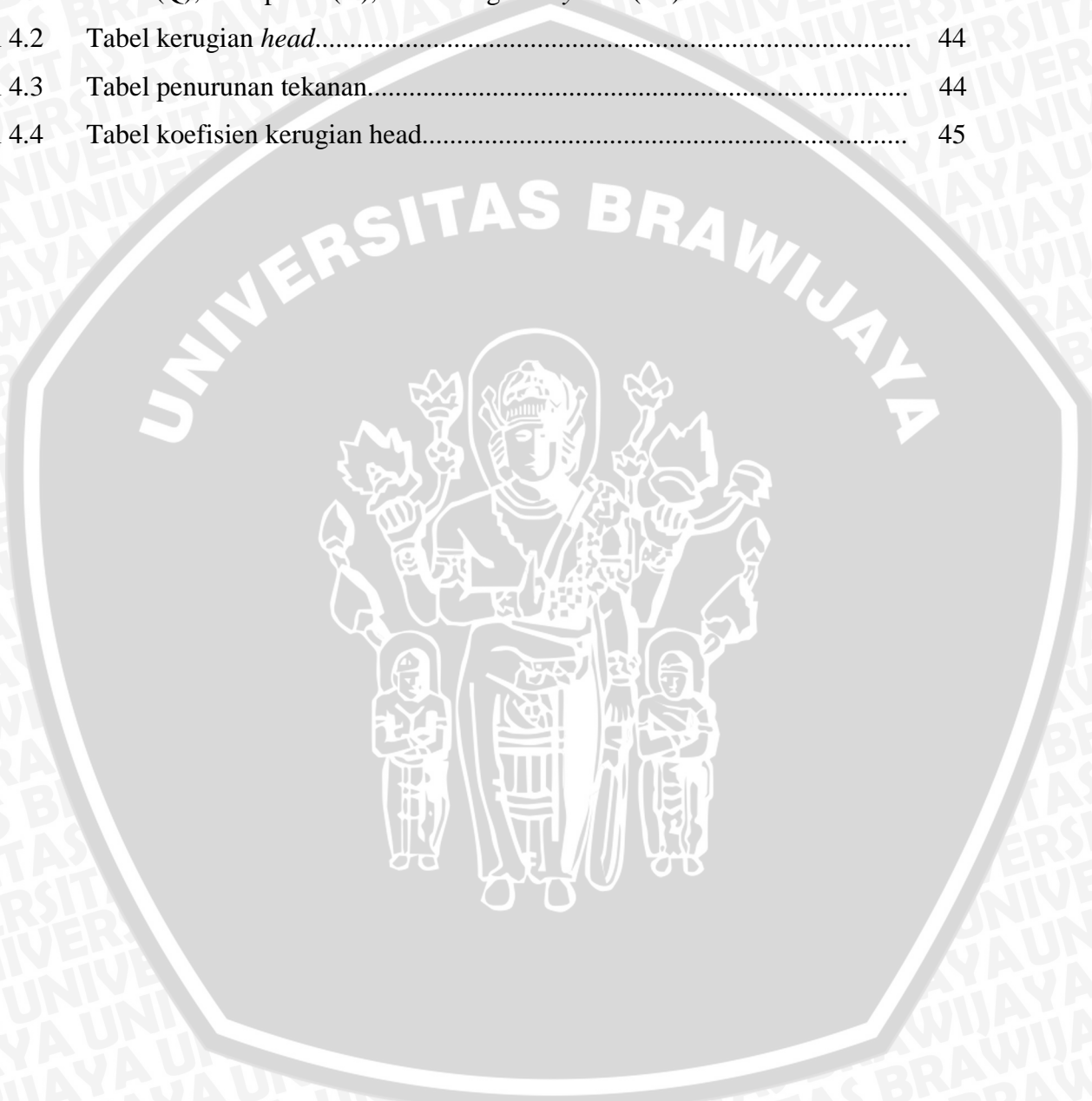
DAFTAR SIMBOL

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.	Debit (Q), Kecepatan (V), dan bilangan <i>Reynold</i> (Re).....	43
Tabel 4.2	Tabel kerugian <i>head</i>	44
Tabel 4.3	Tabel penurunan tekanan.....	44
Tabel 4.4	Tabel koefisien kerugian head.....	45



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm	6
Gambar 2.2	Struktur <i>Boundary layer</i>	8
Gambar 2.3	Fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian.....	9
Gambar 2.4	Aliran Laminer.....	11
Gambar 2.5	Aliran Turbulen.....	11
Gambar 2.6	Perkembangan aliran laminer pada pipa.....	12
Gambar 2.7	Aliran <i>steady</i> dalam pipa.....	13
Gambar 2.8	Aliran yang telah berkembang penuh antara 2 penampang dalam pipa miring	15
Gambar 2.9	Geometri <i>Vortex</i> menurut besar bilangan Reynold.....	17
Gambar 2.10	<i>Vortex</i> 2 dimensi.....	17
Gambar 2.11	Bentuk-bentuk lokal saluran	19
Gambar 2.12	Belokan siku.....	20
Gambar 2.13	Profil aliran melewati belokan	20
Gambar 2.14	Belokan <i>circular</i> 90 ⁰	21
Gambar 2.15	Grafik hubungan ($\frac{R}{a}$) terhadap nilai <i>a</i>	22
Gambar 2.16	Grafik hubungan ($\frac{e}{c}$) terhadap nilai <i>c</i>	22
Gambar 2.17	Grafik hubungan (δ) terhadap nilai <i>b</i>	23
Gambar 2.18	<i>Perforated plate</i>	24
Gambar 2.19	<i>MHI Conditioner</i>	25
Gambar 2.20	The Speramen (NEL) Conditioner	25
Gambar 2.21	<i>The Laws Conditioner</i>	26
Gambar 2.22	<i>Tube Bundle</i>	27
Gambar 2.23	Penampang melintang 19- <i>Tube bundle</i>	28
Gambar 2.24	22- <i>Tube Bnndle</i>	29
Gambar 2.25	Penampang melintang 26- <i>Tube bundle</i>	30
Gambar 2.26	Penampang melintang 25- <i>Tube bundle</i>	30

Gambar 3.1 *Tube Bundle* dengan 22 tabung34

Gambar 3.2 Geometri *Perforated Plate* 35

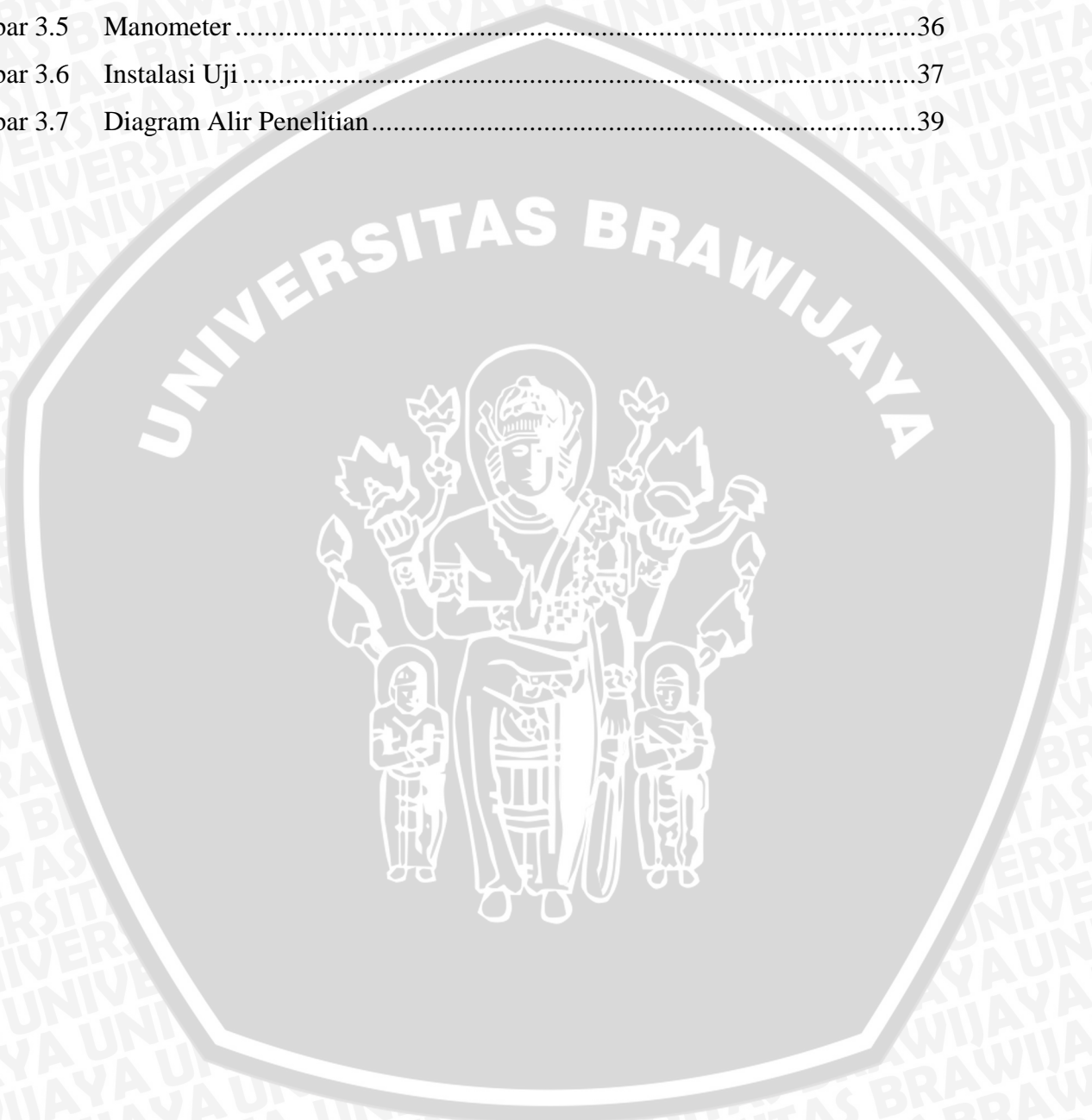
Gambar 3.3 Skema Peletakan *Flow Conditioner*..... 35

Gambar 3.4 Rotameter.....36

Gambar 3.5 Manometer36

Gambar 3.6 Instalasi Uji37

Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian.....39



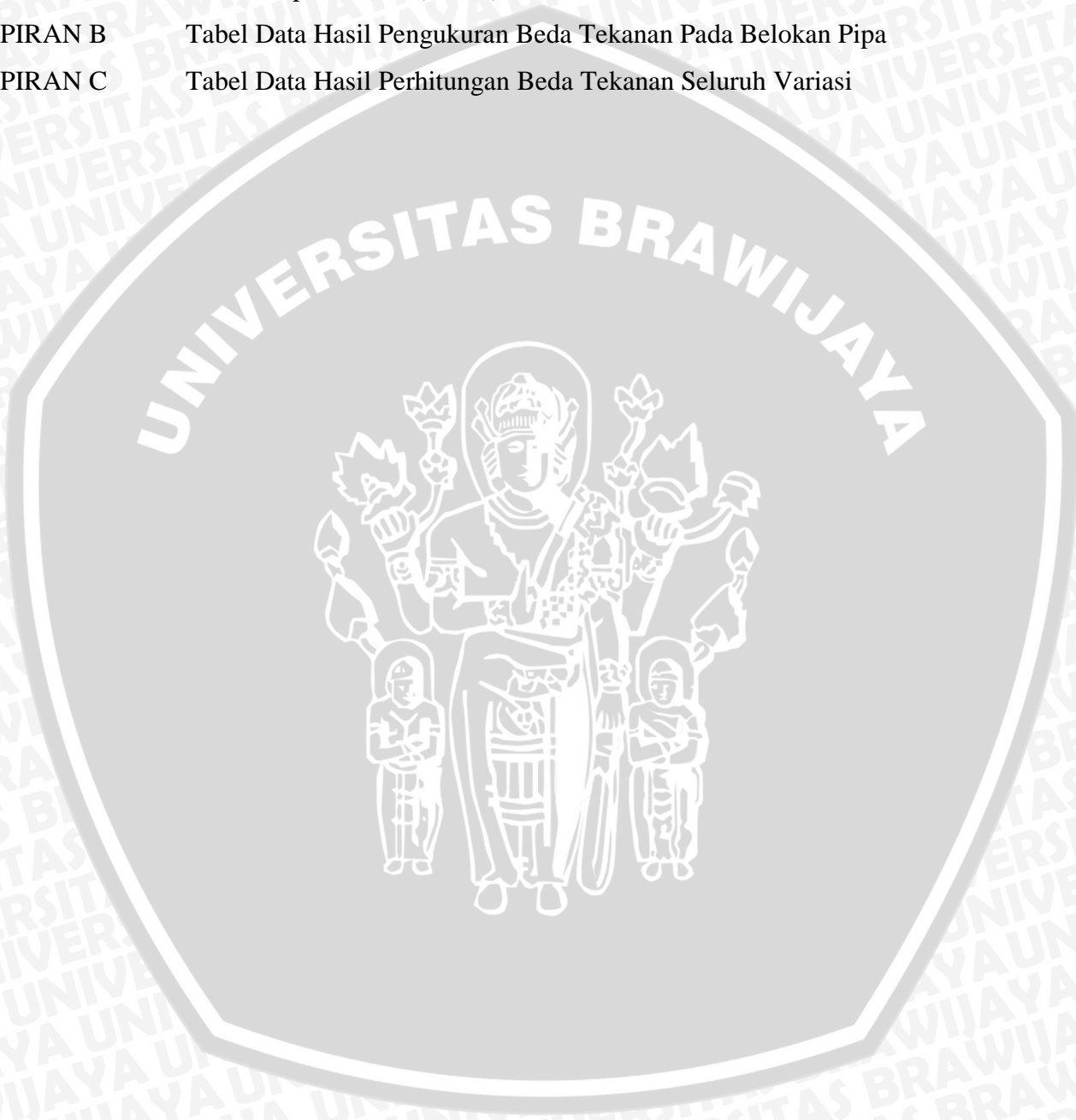
DAFTAR GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.1.	Gambar 4.1 Grafik Hubungan variasi jarak terhadap kerugian <i>head</i>	41
Gambar 4.2.	Gambar 4.2 Grafik hubungan variasi jarak terhadap koefisien kerugian <i>head</i>	44



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
LAMPIRAN A	Tabel Properties Air (Water) dalam satuan SI
LAMPIRAN B	Tabel Data Hasil Pengukuran Beda Tekanan Pada Belokan Pipa
LAMPIRAN C	Tabel Data Hasil Perhitungan Beda Tekanan Seluruh Variasi



RINGKASAN

Ringga Murgana Setyadi, 2010. Pengaruh Variasi Jarak Peletakan *Tube Bundle* Terhadap Kerugian *Head* pada Belokan dengan *Perforated Plate*.

Skripsi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Djoko Sutikno, M. Eng.

2. Ir. I Made Gunadiarta, MT.

Dalam mengalirkan fluida melalui instalasi pipa terdapat kerugian energi berupa penurunan tekanan akibat adanya *major losses* pada pipa lurus dan *minor losses* pada belokan, katup, ataupun pada sambungan pipa. Pada belokan pipa terjadi penurunan tekanan yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama. Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang memunculkan aliran sekunder. Aliran sekunder tersebut memicu terbentuknya *vortex*, yang dapat memperbesar penurunan tekanan pada belokan. Semakin besarnya penurunan tekanan tersebut dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut meningkat, sehingga daya pemompaan juga meningkat. Untuk memperkecil penurunan tekanan (*pressure drop*) pada belokan pipa bisa dengan berbagai cara salah satunya dengan memasang alat pengkondisi aliran (*flow conditioner*) berupa kombinasi *tube bundle* dan *perforated plate* yang diletakkan tepat setelah belokan.

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi jarak peletakan *tube bundle* terhadap kerugian *head* pada belokan dengan *perforated plate*. Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan memvariasikan jarak peletakan *tube bundle* sebesar 2D, 3D, 4D, dan 5D. Data yang diambil meliputi tekanan sebelum melewati belokan, tekanan setelah melewati belokan, dan tekanan setelah melewati *flow conditioner*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dekat jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran pipa yang dilengkapi dengan *perforated plate* akan menyebabkan nilai parameter *c* menjadi semakin minimal, sehingga lebih berpeluang membentuk twin eddy berprofil lingkaran serta akan menghasilkan kerugian belokan yang minimal, maka kerugian *head* pada belokan pipa juga akan semakin mengecil. Kerugian *head* terkecil yaitu 0.004 m didapat pada *tube bundle* dengan jarak peletakan 2D pada debit air sebesar 1000 L/jam.

Kata Kunci : jarak peletakan *tube bundle*, *perforated plate*, kerugian *head*, belokan pipa.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu ilmu pengetahuan dalam bidang teknik mesin adalah mekanika fluida, ilmu ini merupakan salah satu ilmu pengetahuan dasar dalam bidang *rekayasa engineering*. Di dalam mekanika fluida dipelajari tentang sifat-sifat aliran fluida, baik itu fluida *incompressible* maupun *compressible*. Masalah aliran fluida di dalam pipa merupakan permasalahan yang banyak mendapat perhatian dalam bidang mekanika fluida. Banyak penelitian dan pengamatan yang telah dilakukan baik dalam hasil rujukan pustaka berupa teoritis maupun *empiris*.

Pipa pada suatu sistem instalasi fluida mempunyai peranan yang sangat penting, mulai dari rumah tangga sampai pada sektor-sektor industri, seperti penyulingan minyak bumi, proses kimiawai, 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. Dalam mengalirkan fluida melalui 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.

Pada belokan pipa terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar daripada pipa lurus untuk panjang yang sama (Potter and Wiggert, 1997). Hal ini disebabkan aliran pada belokan pipa mengalami gaya sentrifugal yang memunculkan aliran sekunder (Hwang, 1996). Aliran sekunder tersebut memicu terbentuknya *vortex*, yang dapat memperbesar Δp (penurunan tekanan) pada belokan (Hanus *etal*, 2002). Semakin besarnya Δp atau meningkatnya *pressure drop* tersebut dapat menyebabkan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida tersebut meningkat, sehingga daya pemompaan juga meningkat. Selain itu penurunan tekanan yang terlalu besar dapat menyebabkan terjadinya kavitasi dan getaran pada instalasi pipa.

Salah satu cara untuk mengurangi aliran sekunder atau *vortex* akibat adanya katup, belokan atau akibat sambungan pipa adalah dengan pemasangan suatu *flow conditioner* (alat pengkondisi aliran) baik berupa *perforated plate* ataupun *tube bundle* (Ziqiong, Shao, 2001).

Perforated plate 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:). Dengan kata lain *perforated plate* dapat mengurangi kerugian *head* dan kerugian lain yang diakibatkan oleh separasi. Namun pemasangan *perforated plate* tersebut ditengarai dapat menimbulkan kerugian tersendiri sehingga disini penulis mencoba mengkombinasikan dengan *Tube Bundle* dengan harapan dapat mengurangi kerugian yang dihasilkan *perforated plate*.

Tube bundle adalah salah satu jenis alat pengkondisi aliran (*flow conditioner*) yang berfungsi untuk mengkondisikan aliran fluida sehingga akan dihasilkan dimensi *twin-eddy* (pusaran kembar) yang berbentuk lingkaran sehingga dapat mengurangi daerah separasi dan *vortex* pada instalasi pipa akibat adanya katup (*valve*), belokan pipa dan sambungan pada bagian pipa (Ziqiong, shao, 2001)..

Oleh karena itu dalam penelitian ini, perlu diteliti cara untuk mengurangi kerugian *head* akibat terjadinya *vortex* tersebut, yaitu dengan pemasangan kombinasi dua alat pengkondisi aliran berupa *perforated plate* (pelat berlubang-lubang) pada belokan pipa serta pemasangan *tube bundle* dengan jarak tertentu pada bagian hilir.

1.2 Rumusan Masalah

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

- Bagaimana Pengaruh Variasi Jarak Peletakan *Tube Bundle* Terhadap Kerugian *Head* Pada Belokan dengan *Perforated Plate*.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air (*incompressible*)
2. *Elbow 90°* (belokan) yang digunakan adalah PVC dengan diameter 1,25 inch.
3. Jumlah lubang pada *perforated plate* dari tengah ke tepi berturut-turut 1-7-13 buah dan terbuat dari acrylic.
4. *Perforated plate* diletakkan pada jarak 2D dari bagian hilir belokan.

5. Jarak peletakan *Tube Bundle* yang diteliti ialah 2D, 3D, 4D dan 5D setelah belokan pipa yang dilengkapi *perforated plate*.
6. Dimensi *Tube Bundle* yang digunakan 22-tube bundle dengan panjang 27mm

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui Pengaruh Variasi Jarak Peletakan *Tube Bundle* Terhadap Kerugian *Head* Pada Belokan dengan *Perforated Plate*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan pemahaman lebih jauh mengenai aliran fluida pada belokan pipa, dan penerapannya untuk mengatasi kerugian *head* pada belokan.
2. Sebagai dasar dalam mendesain dan pemilihan alat pengkondisian aliran berupa kombinasi *tube bundle* dan *perforated plate* untuk mengatasi kerugian energi pada instalasi pipa.
3. Dapat memberikan suatu masukan yang bermanfaat tentang instalasi perpipaan, dalam usaha mengatasi kerugian energi berupa penurunan tekanan pada belokan pipa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Syamsuddin (2008), meneliti tentang Pengaruh Peletakan Plat Perforasi Terhadap Kerugian *Head* pada belokan pipa. Penelitian tersebut dilakukan pada belokan pipa dengan diletakkan pelat perforasi (pelat berlubang) sebagai flow conditioner-nya. Beda tekanan diukur pada bagian hulu dan hilir pada belokan. Hasil penelitian menyatakan bahwa Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan plat perforasi dengan jarak peletakan 2D menghasilkan kerugian *head* yang lebih rendah dibandingkan dengan jarak peletakan 3D, 4D, 5D dan tanpa pemasangan plat. Tetapi pada jarak peletakan plat perforasi 4D mempunyai kerugian *head* yang hampir sama dengan tanpa plat perforasi, sedangkan dengan jarak 5D kerugian *head*-nya lebih besar dari pada tanpa plat perforasi.

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

Pramudibyo (2008), meneliti tentang Variasi Panjang *Tube Bundle* dan Peran Sertanya Terhadap Kerugian *Head* Aliran Fluida Pada Belokan. Penelitian ini dilakukan pada belokan pipa dimana pada sisi hilir belokan ditambahkan flow conditioner berupa tube bundle setelah belokan pipa dengan variasi panjang tube bundle. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa Pemasangan *tube bundle* pada bagian hilir belokan pipa mempengaruhi penurunan/ beda tekanan dan kerugian *head* aliran fluida. Serta, dengan semakin panjang *tube bundle* kerugian *head* yang terjadi pada belokan pipa semakin mengecil karena intensitas turbulensi dan *vortex* yang dihasilkan menjadi semakin mengecil.

Shao (2001), meneliti tentang *Numerical and Experimental evaluation of flow through perforated plates*. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa porositas dan jumlah lubang dari *perforated plate flow conditioner* dapat mempengaruhi performance dari *perforated plate*. Penelitian dilakukan pada pipa lurus dimana *perforated plate* diletakkan pada pipa lurus tersebut dan penurunan tekanan (Δp) diukur pada sebelum dan sesudah melewati *perforated plate*. Dalam penelitiannya yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen dijelaskan pula bahwa plat dengan jumlah lubang 22 buah dengan perforasi 50% akan menghasilkan aliran yang *fully developed* dan *losses* yang kecil.

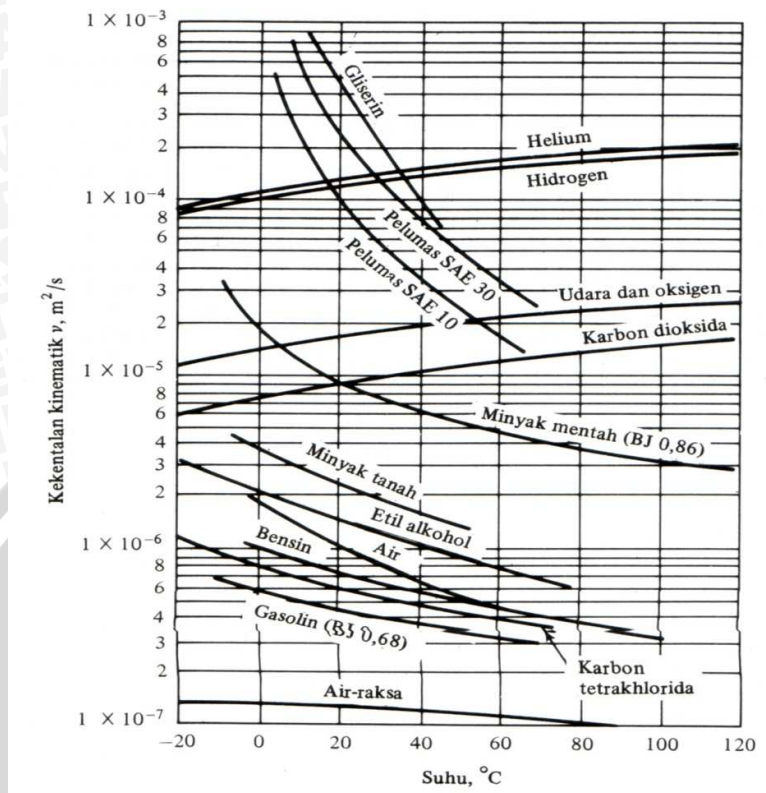
2.2 Fluida

2.2.1 Definisi Fluida

Fluida adalah suatu zat yang berubah bentuk secara terus-menerus (kontinu) bila terkena tegangan geser, berapapun kecilnya tegangan geser tersebut. Tegangan geser ini timbul akibat adanya gaya geser. Gaya geser yang terjadi adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. (Streeter & Wylie, 1996 : 3)

2.2.2 Viskositas

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



Gambar 2.1 : Viskositas kinematik berbagai fluida pada 1 atm

Sumber : White, Frank M .1994 : 388

Gambar 2.1 merupakan grafik pengaruh temperatur terhadap kekentalan suatu fluida. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk fluida cair viskositasnya akan menurun dengan meningkatnya temperatur sedangkan untuk fluida gas semakin meningkat temperatur maka viskositasnya akan meningkat. Menurut Streeter (1996: 8) perbedaan dalam kecenderungan terhadap suhu dikarenakan tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tersebut tergantung pada kohesinya dan laju perpindahan momentum molekulernya. Fluida cair yang memiliki ikatan-ikatan molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi merupakan salah satu penyebab utama viskositas cairan dan karena kohesi berkurang dengan naiknya temperatur, maka demikian pula dengan viskositasnya. Sebaliknya gas mempunyai gaya-gaya kohesi yang sangat kecil. Sebagian besar dari tahanannya terhadap tegangan geser merupakan akibat perpindahan momentum molekuler. Semakin meningkat temperatur

mengakibatkan laju perpindahan molekul semakin tinggi sehingga viskositasnya semakin besar.

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Mott, 1994 : 25}) \quad (2-1)$$

Dimana :

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

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

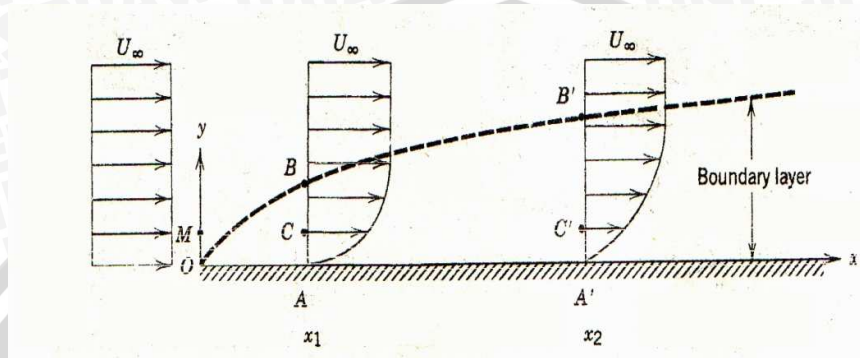
ρ = densitas/ massa jenis (Kg/m^3)

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

2.3 Lapisan Batas/ *Boundary layer*

Boundary layer adalah lapisan tipis fluida pada permukaan benda padat dimana terjadi suatu gradien parameter yang besar. Pada fluida yang mengalir di dalam pipa, terjadi lapisan batas, dimana pada lapisan tersebut terjadi perubahan kecepatan terhadap jarak dari dinding pipa, karena pengaruh dari tegangan geser dinding pipa, sehingga terjadi gradien kecepatan. Pada aliran fluida aktual/ *viscous* yang melalui permukaan suatu benda terdapat suatu daerah dimana aliran fluida masih dipengaruhi gesekan dengan permukaan benda. Pada daerah tersebut kecepatan bertambah, dari nol (pada permukaan benda) hingga mendekati kecepatan aliran utama (kecepatan fluida di dalam lapisan batas telah mencapai 99% kecepatan aliran utama). Semakin mendekati permukaan diam (dinding pipa), kecepatan semakin berkurang, sebaliknya semakin menjauh kecepatan aliran

semakin bertambah. Daerah ini disebut dengan lapisan batas (*boundary layer*) dengan ketebalan yang sangat tipis. Gradien kecepatan tersebut mempengaruhi tegangan geser dalam aliran fluida *viscous* karena besarnya tegangan geser sebanding dengan gradien kecepatan. Gambar 2.2 menjelaskan tentang stuktur *boundary layer*



Gambar 2.2 : Struktur *Boundary layer*

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

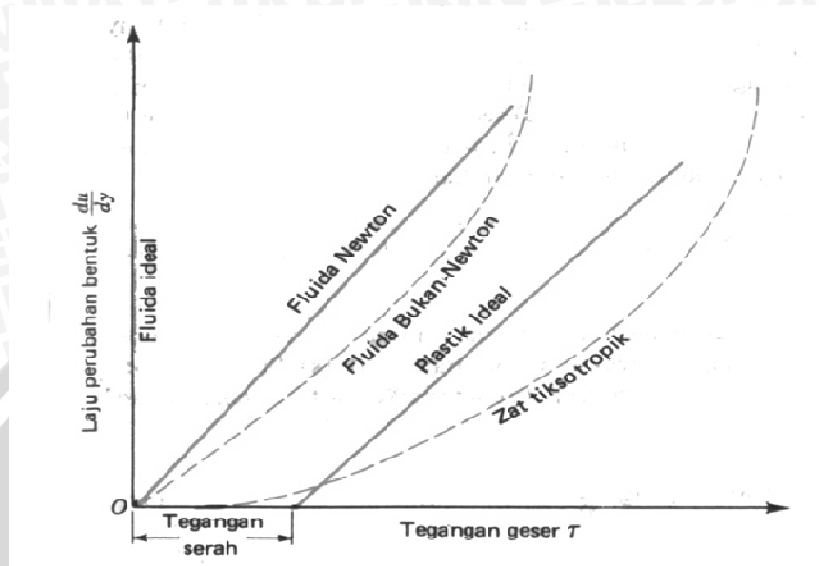
Pada gambar 2.2 terlihat ketika berada pada O fluida memiliki kecepatan yang seragam, karena aliran fluida masih belum terpengaruh oleh gaya pada permukaan dinding. Saat fluida melewati A, fluida terpengaruh oleh gaya dinding, sehingga terjadi gradien kecepatan. Sedangkan ketika fluida pada A' juga terjadi gradien kecepatan, akan tetapi pengurangan kecepatan semakin besar karena jarak fluida mengalir pada dinding semakin jauh, sehingga pengaruh gaya dinding semakin besar terhadap fluida.

2.4 Klasifikasi Fluida

2.4.1 Fluida Newtonian dan Fluida non-Newtonian

Berdasarkan kemampuan fluida dalam menahan tegangan geser, fluida dibedakan menjadi fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian (Streeter & Wylie, 1986 :3). Dalam fluida Newtonian terdapat hubungan linier antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dengan gradien kecepatan pada fluida. Sedangkan fluida non-Newtonian memiliki hubungan yang tak linier antara besarnya tegangan geser dengan gradien kecepatan seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3 di halaman 9.

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



Gambar 2.3 : Fluida Newtonian dan fluida non-Newtonian

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

2.4.2 Fluida mampu mampat dan Fluida takmampu mampat

Menurut Daugherty, Robert L. (1986 : 4) fluida dibagi menjadi 2 yaitu fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida tak mampu 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 $\frac{d\rho}{dp} > 0$. Contoh fluida tak mampu mampat adalah fluida cair dan fluida gas yang memiliki Bilangan Mach atau *Mach Number* (M) $< 0,2$, sedangkan untuk fluida gas yang memiliki *Mach Number* (M) $> 0,2$ dianggap fluida mampu mampat dan sifat-sifat kompresibilitasnya harus diperhitungkan.

2.5 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 di lapisan batas atau di dalam pipa atau di sekitar benda yang terendam.

Persamaan bilangan *Reynold* untuk aliran di dalam pipa adalah

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

Dimana :

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)

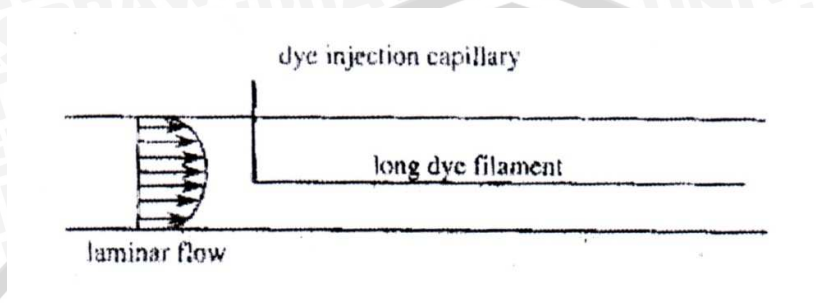
ρ = densitas (Kg/m³)

2.6 Aliran Laminer dan Turbulen

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

Fluida memiliki aliran laminer ketika fluida bergerak dengan kecepatan rendah dan memiliki viskositas yang tinggi. Aliran laminer memiliki angka *Reynold* lebih kecil dari 2300. Pada aliran laminer kecenderungan untuk turbulensi diredam oleh gaya viskos

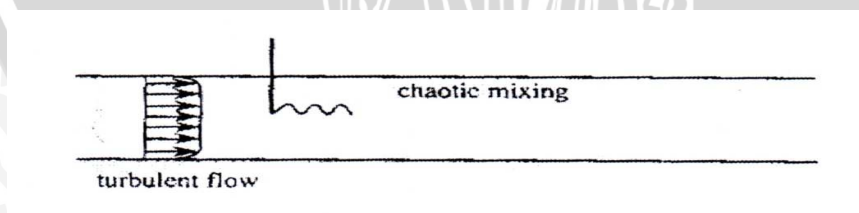
yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan fluida yang berdekatan. Hal tersebut ditunjukkan oleh percobaan Osborne Reynold. Pada laju aliran rendah, aliran laminer tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Aliran Laminer

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

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

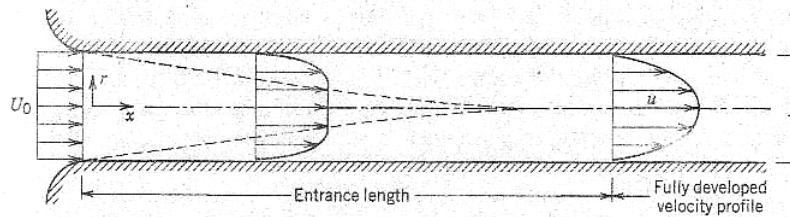


Gambar 2.5 : Aliran Turbulen

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 26

Dalam aliran laminer *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.

2.7 Aliran *Fully Developed* (Berlangsung Mantap)



Gambar 2.6 : Perkembangan aliran laminar pada pipa

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

Pada gambar 2.6 ketika aliran akan masuk ke dalam pipa, aliran memiliki kecepatan yang seragam. Lalu ketika aliran masuk ke dalam pipa, kecepatan aliran pada dinding pipa adalah nol, dan terbentuk lapisan batas karena pengaruh gaya dinding pipa sehingga terjadi pengurangan kecepatan. Semakin jauh jarak tempuh fluida semakin besar gradien kecepatan yang terjadi.

Setelah mencapai jarak yang mencukupi, lapisan batas akan mengembang dan mencapai garis pusat pipa. Aliran akan seluruhnya kental (viskos) dan bentuk dari profil kecepatan akan berubah. Ketika bentuk profil kecepatan sudah tidak lagi berubah terhadap bertambahnya jarak tempuh fluida terhadap pipa maka aliran itu disebut aliran *fully developed*. Bentuk aktual dari profil kecepatan aliran yang telah berlangsung mantap (*fully developed*) tergantung dari apakah aliran tersebut 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 :

$$\frac{L}{D} = 0,06 \frac{\rho V D}{\mu} \quad (\text{Fox, 1994: 305}) \quad (2-3)$$

L = *entrance length* (m)

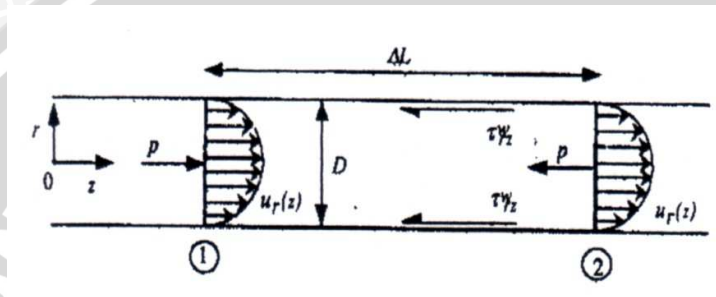
D = diameter pipa (m)

ρ = densitas (Kg/m³)

V = kecepatan rata-rata(m/s)

μ = viskositas absolut(N.s/m²)

2.8 Persamaan Kontinuitas



Gambar 2.7 : Aliran steady dalam pipa

Sumber : Papanastasiou, Tasos C.1993 : 140

Persamaan kontinuitas menyatakan hukum kekekalan massa fluida, yakni jumlah massa yang mengalir tiap satuan waktu sepanjang *stream tube* adalah konstan. Pada gambar 2.7 diatas di antara penampang 1 dan 2, massa fluida yang mengalir antara penampang 1 dan 2 tiap satuan waktu adalah tetap, sehingga kuantitas massa aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap. (White, 1994:305)

Hukum kekekalan massa, dapat dituliskan dengan persamaan kontinuitas, yaitu

$$m = \text{konstan}$$

$$m_1 = m_2$$

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

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

Sehingga persamaan kontinuitas dapat dirumuskan dengan :

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (\text{White, 1994 : 305}) \quad (2-4)$$

Dengan : $A =$ luas penampang pipa (m^2)

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

2.9 Persamaan *Bernoulli* Untuk Fluida Ideal

Persamaan *Bernoulli* untuk fluida ideal menyatakan hukum kekekalan energi pada fluida. Dalam mendapatkan persamaan *Bernoulli* terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan yaitu fluida ideal, tak memiliki viskositas, tak mampu mampat (*incompressible*), dan massa jenis fluida (ρ) konstan. Karena fluida yang bekerja adalah fluida ideal tak memiliki viskositas maka tidak ada kehilangan energi selama fluida mengalir.

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

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

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

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

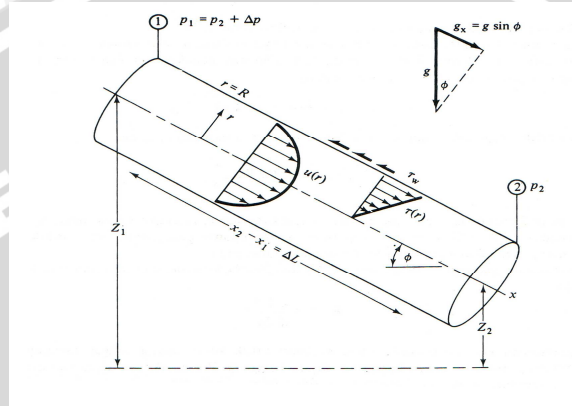
Persamaan *Head*-nya yaitu:

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

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

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

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



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

Sumber : White, Frank, M.1954: 305

Dari persamaan-persamaan diatas, dapat disimpulkan bahwa persamaan Bernaulli menyatakan bahwa *head* total fluida yang mengalir pada suatu pipa tanpa gesekan adalah konstan. Seperti pada gambar 2.8 *head* total pada penampang 1 yaitu jumlah dari *head* ketinggian 1, *head* kecepatan 1 dan *head* tekanan 1 adalah sama dengan *head* total pada penampang 2 yaitu jumlah *head* ketinggian 2, *head* tekanan 2, *head* kecepatan 2.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Streeter \& Wylie, 1991:4}) \quad (2-9)$$

2.10 Persamaan *Bernaulli* Untuk Fluida Real

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

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

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{V_{m1}^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{V_{m2}^2}{2 \cdot g} + \sum h \quad (\text{Nekrasov, 1990: 59}) \quad (2-10)$$

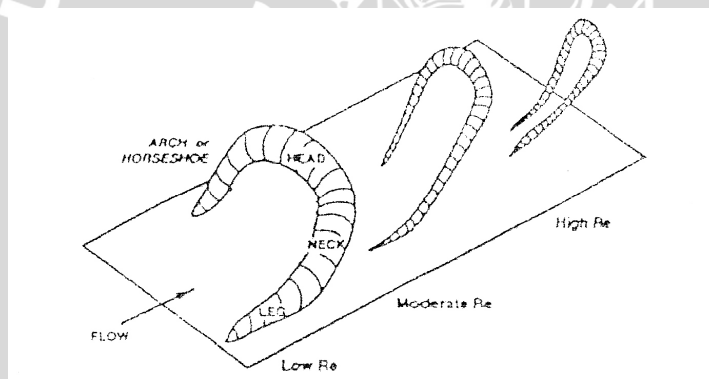
Persamaan di atas adalah persamaan *Bernaulli* untuk fluida real. Persamaan ini berbeda dengan persamaan *Bernaulli* untuk fluida ideal. Pada persamaan ini di tampilkan *head loss* ($\sum h$) karena pada fluida real terjadi kehilangan energi dan juga α yang menyatakan koefisien distribusi kecepatan, karena distribusi kecepatan pada fluida real tidak seragam. Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa persamaan *Bernaulli* 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)

2.11 *Vortex*

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan

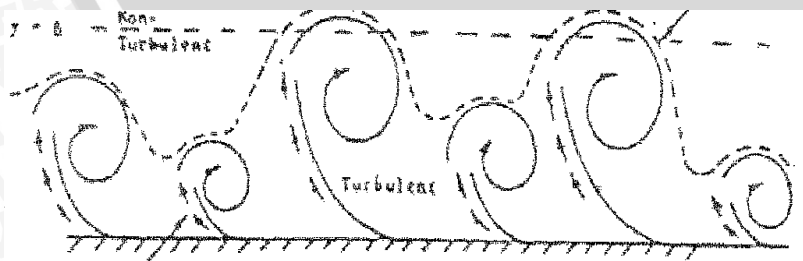
kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu, gradien kecepatan ini akan menyebabkan puntiran (torsi). Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortices* pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*)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

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



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

Sumber : Steven K. Robinson, 1991 : 607



Gambar 2.10 : *Vortex* 2 dimensi

Sumber : Steven K. Robinson, 1991 : 619

2.12 Head Losses

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

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

Rumusan untuk *major losses* menurut Darcy.

$$h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1960: 60}) \quad (2-11)$$

Dimana

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

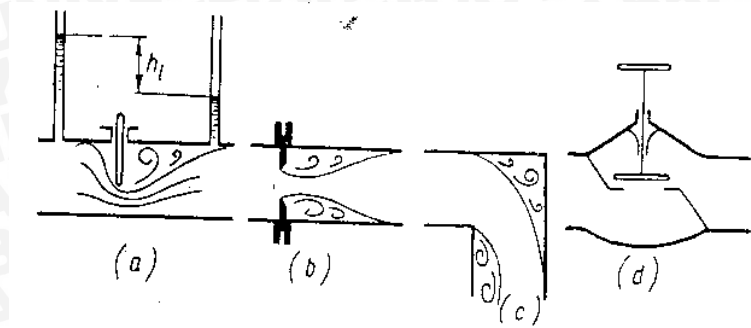
$\lambda = \text{faktor gesek}$

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

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

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

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



Gambar 2.11 : Bentuk-bentuk lokal saluran

Sumber : Boris Neckrasov, 1960 : 61

Minor losses dapat dirumuskan:

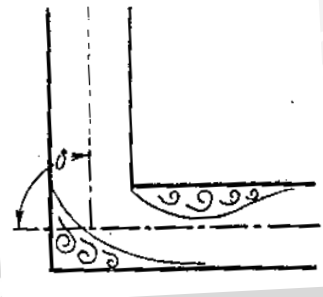
$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

(Nekrasov, 1960: 61) (2-12)

Dengan ζ adalah koefisien kerugian *minor losses* dan V adalah kecepatan fluida.

2.13 *Minor Losses* Pada Belokan

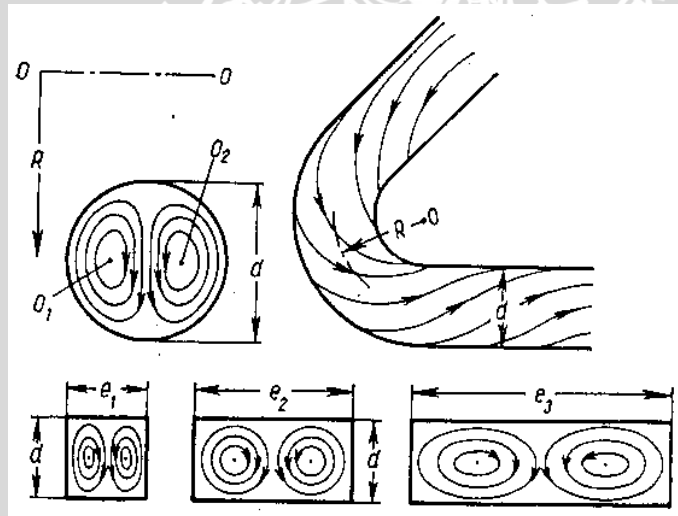
Belokan menyebabkan hilangnya energi pada aliran yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada belokan terjadi pemisahan aliran dan turbulensi. Kerugian pada belokan semakin meningkat dengan bertambah besarnya sudut belokan (δ). Sudut belokan adalah sudut antara saluran arah masuk aliran terhadap negatif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



Gambar 2.12 : Belokan siku

Sumber : Boris Neckrasov, 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.

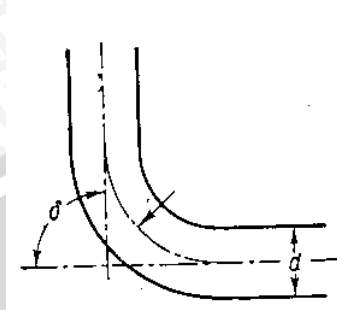


Gambar 2.13 : Profil aliran melewati belokan

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

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:114

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

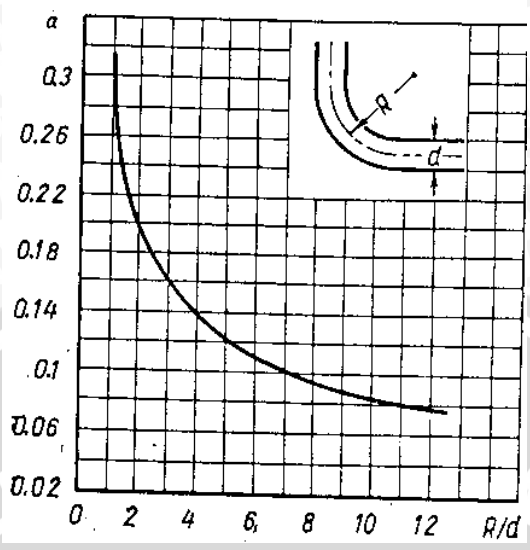
$$h = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Nekrasov, 1960: 61}) \quad (2-13)$$

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

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

$$\zeta_{\text{bend}} = 0,73 abc \quad (\text{Nekrasov, 1960:61}) \quad (2-14)$$

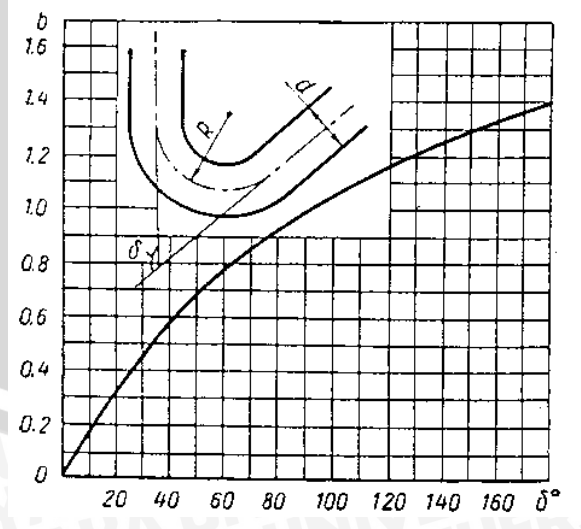
dimana; a = fungsi dari radius belokan relatif ($\frac{R}{d}$)



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

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:115

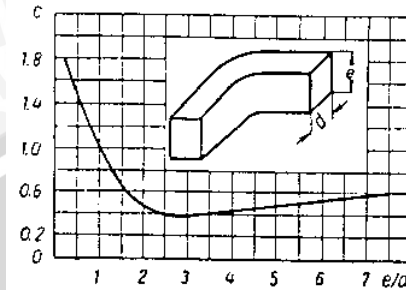
b = fungsi dari sudut belokan (δ)



Gambar 2.16 : Grafik hubungan (δ) terhadap nilai b

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:116

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



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

Sumber : Boris Neckrasov, 1960:116

2.14 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 *fully developed* (berkembang penuh) lebih cepat dengan menempuh panjang pipa lurus yang lebih pendek.

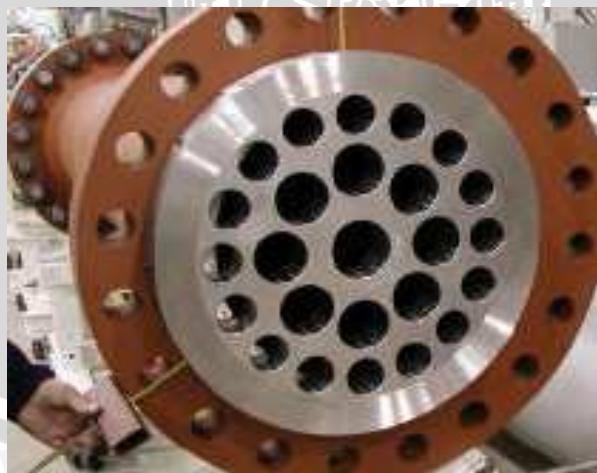
Karena *flow conditioner* bisa menghilangkan *vortex/swirl*, yang merupakan penyebab hilangnya energi pada aliran, yang menghasilkan *pressure drop*, maka pemasangan *flow conditioner* dapat meminimalisasi *pressure drop* yang terjadi pada aliran ketika aliran melewati belokan, katup, perubahan luas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

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi flow conditioner} &= \frac{\text{penghilangan gangguan aliran}}{\text{pressure drop karena alat}} \\ &= \frac{\text{penurunan pressure drop pada aliran}}{\text{pressure drop karena alat}} \end{aligned}$$

2.14.1 Perforated plate

Perforated plate 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). *Perforated plate* 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. *Perforated plate* dapat menahan kecepatan aliran yang tinggi saat melewati belokan sehingga separasi dan aliran sekunder dapat dikurangi, disamping itu dengan adanya *perforated plate* aliran akan seragam dan akan cepat mantap.



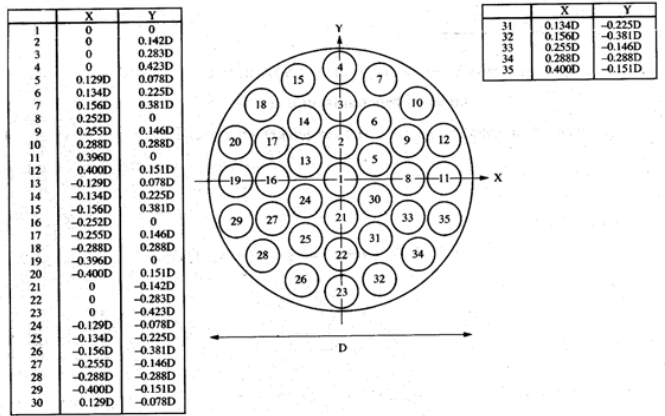
Gambar 2.18 : *Perforated plate*

Sumber : www.cpcal.com

2.14.2 Jenis Perforated plate

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

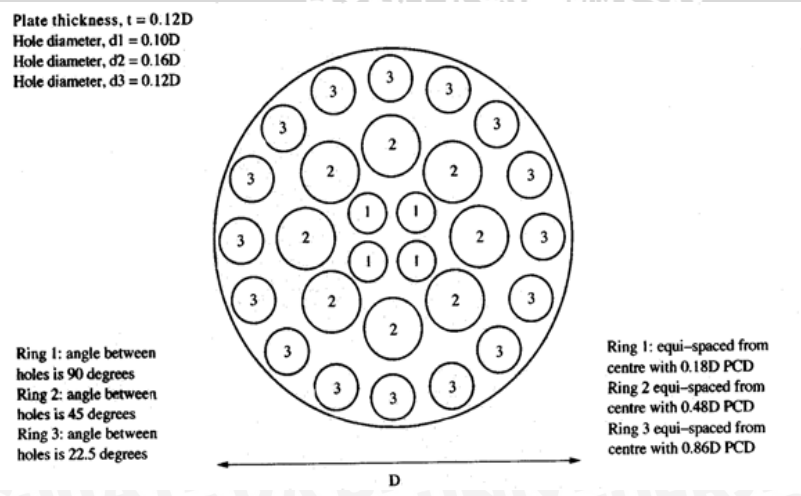
1. MHI (Mitsubishi Heavy Industries) conditioner



Gambar 2.19 : MHI Conditioner

Sumber : Shao, Ziqiong. 2001:22

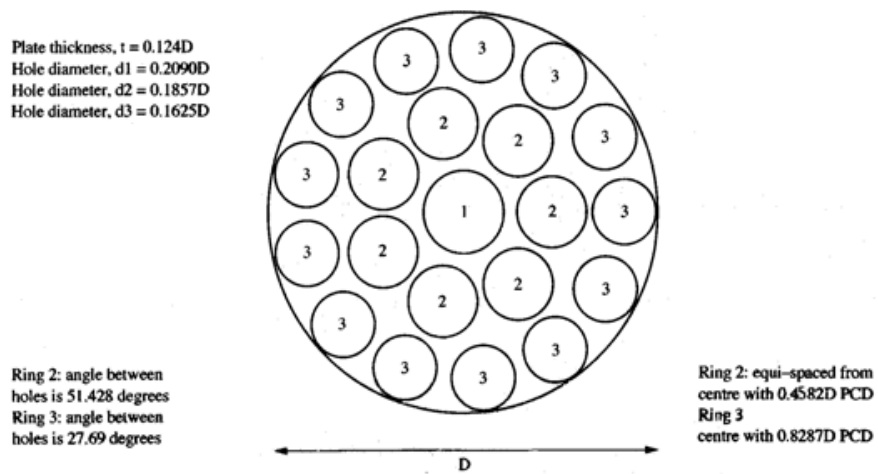
2. The Sparmen (NEL) conditioner



Gambar 2.20 : The Sparmen (NEL) Conditioner

Sumber : Shao, Ziqiong. 2001: 23

3. *The Laws conditioner*



Gambar 2.21 : *The Laws Conditioner*

Sumber : Shao, Ziqiong, 2001: 22

Geometri dari *Perforated plate* tipe *Laws* berdasarkan teori *Elder* yaitu :

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

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\alpha/n} \cdot D \quad (\text{Shao, Ziqiong, 2001: 27}) \quad (2-15)$$

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

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.

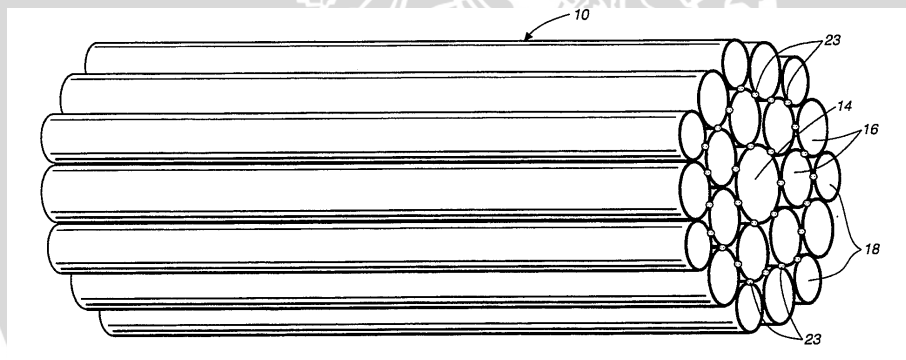
d_3 = Diameter lubang pada lintasan terluar.

α = porositas (%)

Perforated plate 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 *perforated plate* yang lainnya (Ziqiong, Shao, 2001: 28). Oleh karena itu fokus dalam penelitian ini adalah membahas *perforated plate* jenis *Laws Conditioner*.

2.14.3 Tube Bundle

Tube bundle adalah salah satu jenis *flow conditioner* yang terdiri dari kumpulan tabung-tabung yang diikat menjadi satu yang dipasang pada penampang melintang di dalam pipa. *Tube bundle* menghasilkan profil aliran seperti peluru tumpul dengan kecepatan pada pusat aliran 15% lebih besar daripada kecepatan rata-rata aliran. *Tube bundle* merupakan *flow conditioner* yang dapat secara efektif menghilangkan *swirl/vortex* pada aliran lebih besar daripada *flow conditioner* jenis lainnya.



Gambar 2.22 : *Tube bundle*

Sumber : John W. Stuart, 1995:1

Meskipun *tube bundle* baik dalam menghilangkan *swirl* atau *vortex*, hasil penelitian mengatakan terjadi beberapa eror pengukuran pada aliran. Hal ini dikarenakan profil aliran yang dihasilkan *tube bundle* tidak cukup stabil dan dapat menyebabkan gangguan pada profil kecepatan aliran. Kekurangan ini menyebabkan *tube bundle* membutuhkan lebih

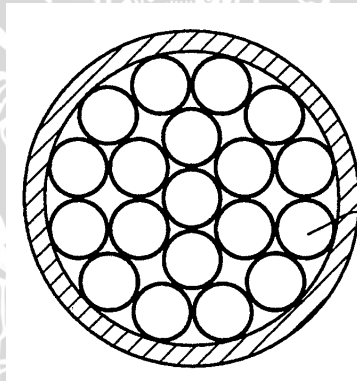
panjang pipa lurus untuk mencapai aliran *fully developed* dibandingkan dengan *flow conditioner* lain (*perforated plate*).

Kelebihan *tube bundle* di samping mampu menghilangkan *swirl* lebih baik dari pada *flow conditioner* lain, *pressure drop* yang dihasilkan alat ini relatif lebih kecil. Dengan *tube bundle* penghalangan aliran lebih kecil terjadi, sehingga kehilangan energi pada aliran lebih kecil. Pembuatan *tube bundle* lebih mudah dan biaya lebih murah.

Jenis *tube bundle* berdasarkan konfigurasi tabung:

1. 19-tube bundle

Terdiri dari 19 tabung dengan panjang tiap tabung sama yaitu 0,2-1 diameter pipa dan diameter yang sama, yaitu 0,2 diameter pipa. Pembuatan lebih mudah tetapi aliran yang dihasilkan kurang stabil.



Gambar 2.23 : Penampang melintang 19- Tube bundle

Sumber : John W. Stuart, 1995:3

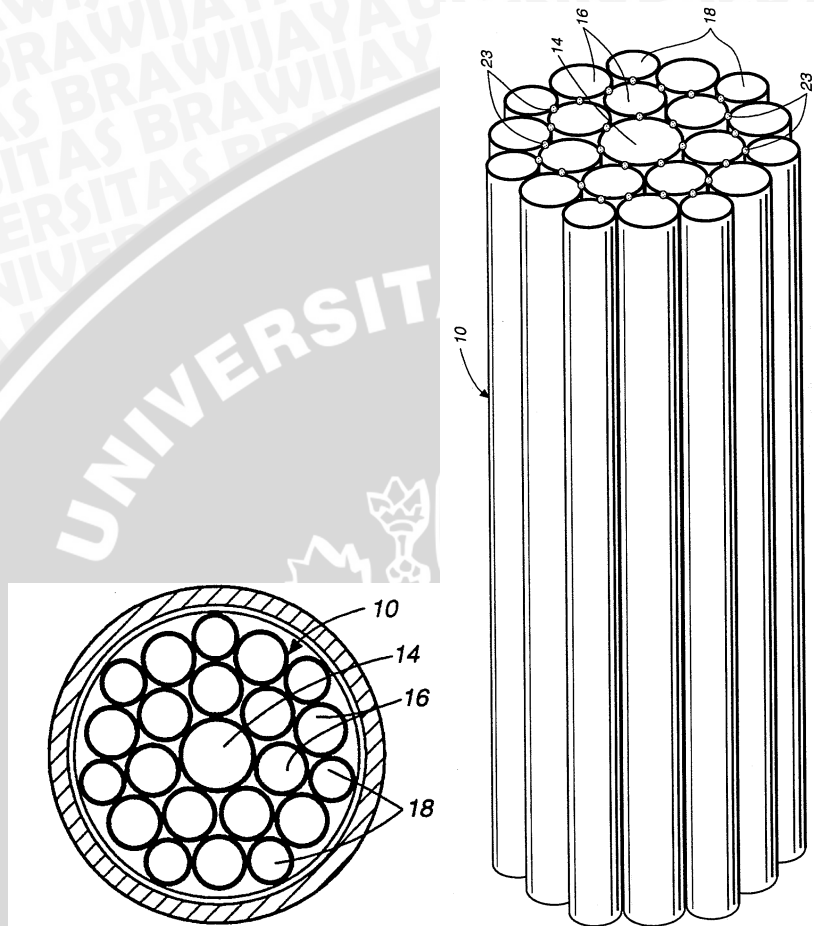
2. 22-tube bundle

Terdiri dari 22 tabung dengan panjang yang sama. Satu tabung pada pusat memiliki diameter terbesar (14), dikelilingi dengan 7 tabung berdiameter lebih kecil (16), diikuti dengan tabung pada ring paling luar yang terdiri dari tabung 7 tabung (16) dan 7 tabung (18) yang memiliki diameter paling kecil. Dapat meminimalkan gangguan aliran dan eror pada aliran yang dihasilkan lebih kecil.

Diameter tabung (14) = 0,25 D pipa

Diameter tabung (16) = 0,188 D tabung (14)

Diameter tabung (18) = 0,146-0,187 D tabung (16)

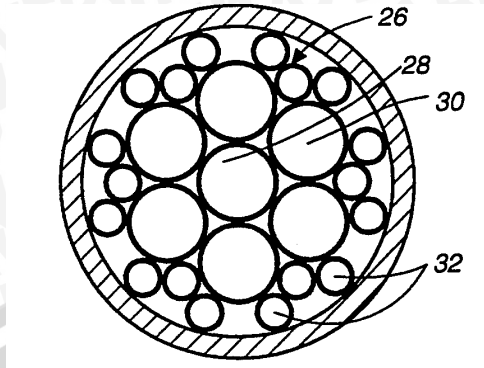


Gambar 2.24 : 22- Tube bundle

Sumber : John W. Stuart, 1995:5

3. 26-tube bundle

Memiliki 26 tabung dengan panjang sama, tabung pusat (28) dikelilingi 6 tabung dengan diameter yang sama (30), dan pada bagian luar 18 tabung dengan diameter terkecil (32). Performa berkurang karena terlalu banyak aliran yang melewati bagian tengah tube yang memiliki diameter besar.

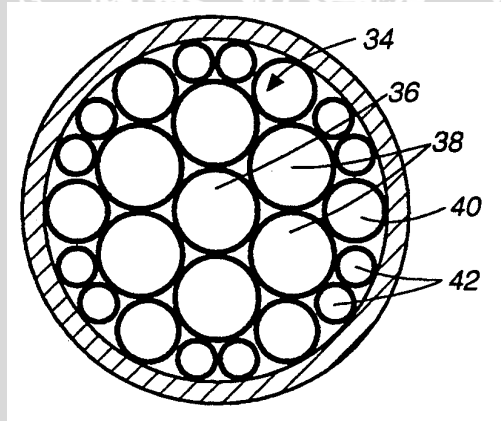


Gambar 2.25 : Penampang melintang 26- Tube bundle

Sumber : John W. Stuart, 1995:5

4. 25-tube bundle

Tube bundle dengan 25 tabung dengan panjang sama, 1 tabung central (36) dikelilingi 6 tabung (38) dengan diameter lebih besar, tabung paling luar memiliki 6 tabung (34) diameter menengah dan sepasang tabung (42) dengan diameter paling kecil di antar tabung tersebut.



Gambar 2.26 : Penampang melintang 25- Tube bundle

Sumber : John W. Stuart, 1995:6

Dari hasil tes laboratorium, menunjukkan bahwa 22-tube bundle memiliki performa lebih baik dari pada tube bundle dengan konfigurasi yang lain karena mampu menghilangkan swirl dengan baik dan juga menghasilkan profil alran yang lebih baik.

Tube bundle merupakan *flow conditioner* yang bisa mengurangi *vortex* sehingga aliran dari belokan yang berotasi yang menghasilkan *twin eddy* (pusaran ganda) setelah melewati *tube bundle* maka pola alirannya akan lurus. Hal ini karena *vortex* yang menyebabkan fluida berotasi dikurangi.

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

2.14.4 Kombinasi Perforated Plate - Tube bundle

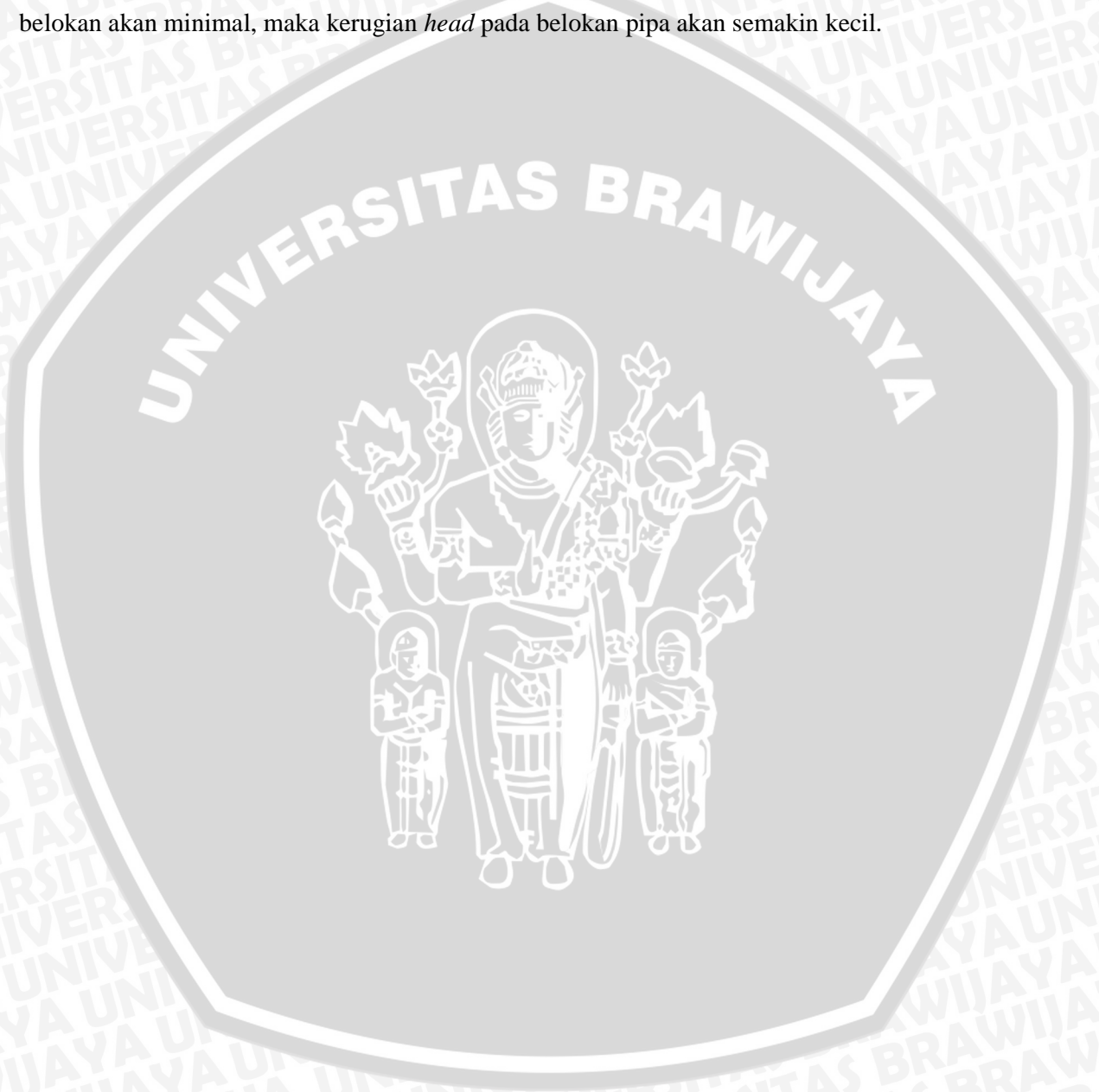
Alat ini merupakan gabungan dari dua jenis *flow conditioner* yang dipasang pada penampang melintang pipa. Alat ini diharapkan dapat memaksimalkan kelebihan dan meminimalkan kelemahan masing-masing *flow conditioner* tersebut. Telah disebutkan di atas bahwa baik *tube bundle* maupun *perforated plate* memiliki kelebihan dan kekurangan. *Tube bundle* sangat baik dalam menghilangkan *vortex* tetapi menghasilkan aliran yang kurang stabil sedangkan *perforated plate* memiliki kemampuan untuk merubah aliran menjadi lebih seragam dan stabil tetapi pengurangan *swirl* kurang efektif karena menghasilkan *pressure drop* yang besar.

Perlengkapan ini terdiri dari 2 bagian : sebuah alat anti-*swirl*; dan alat profil aliran (*profile device*). Kedua bagian ini memiliki tugas masing-masing dan jarak tertentu dari satu bagian ke bagian yang lain. Pada instalasi perpipaan, anti-*swirl* dipasang pada bagian setelah *profile device*. Alat ini dipasang pada bagian hilir terdekat dengan sumber gangguan aliran (belokan, katup, perubahan luas penampang dll.)

Anti-*swirl* pada *flow conditioner* berfungsi untuk menghilangkan *vortex* atau *swirl* pada aliran fluida. Maka dari itu digunakan *tube bundle* yang dapat menjamin penghilangan *swirl* dengan faktor penghalangan aliran yang kecil. *profile device* berfungsi untuk menstabilkan aliran sehingga aliran dapat lebih cepat mencapai kondisi *fully developed*. Oleh karena itu digunakan *perforated plate*

2.15 Hipotesis

Semakin dekat jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran pada belokan pipa yang dilengkapi dengan *Perforated Plate* akan menyebabkan nilai parameter c menjadi minimal, sehingga lebih berpeluang membentuk *twin eddy* berprofil lingkaran dimana kerugian belokan akan minimal, maka kerugian *head* pada belokan pipa akan semakin kecil.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh jarak peletakan *tube bundle* terhadap penurunan tekanan dan koefisien kerugian *head* pada belokan pipa yang dilengkapi pelat perforasi.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan Nopember 2009.

3.3 Prosedur Penelitian

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

1. Studi Literatur

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

2. Observasi Lapangan

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

3. Perancangan Instalasi

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

4. Pembuatan Alat

Pembuatan Alat dimulai dengan mempersiapkan pipa untuk instalasi termasuk pipa uji, *perforated plate*, dan *tube bundle* yang akan diteliti

3.4 Peralatan Penelitian

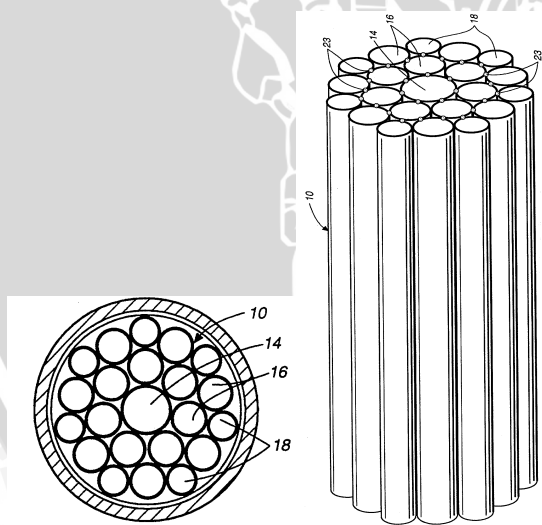
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Pipa PVC

Digunakan sebagai jaringan pipa baik pipa lurus maupun belokan pipa. Pada penelitian ini digunakan diameter pipa PVC 1,25 inchi. Belokan pipa yang diuji berjumlah lima. Belokan pipa uji yang pertama dilengkapi dengan pelat perforasi tanpa adanya penambahan *tube bundle*, belokan pipa uji yang kedua dengan penambahan *tube bundle* dengan jarak 2D, belokan pipa uji ketiga dengan penambahan *tube bundle* dengan panjang 3D, belokan uji yang keempat dengan *tube bundle* dengan panjang 4D, dan belokan uji yang keempat dengan *tube bundle* dengan panjang 5D.

2. Tube Bundle

Terbuat dari *stainless* dengan geometri dari *tube bundle* adalah sebagai berikut: Terdiri dari 22 tabung dengan panjang yang sama. Satu tabung pada pusat memiliki diameter terbesar (14), dikelilingi dengan 7 tabung berdiameter lebih kecil (16), diikuti dengan tabung pada ring paling luar yang terdiri dari tabung 7 tabung (16) dan 7 tabung (18) yang memiliki diameter paling kecil.



Gambar 3.1 : *Tube bundle* dengan 22 tabung

- Diameter tabung 14 = $0,25 D = 0,25 \times 1,25 \text{ inchi} = 0,3125 \text{ inchi} = 7,94 \text{ mm}$
- Diameter tabung 16 = $0,188 D = 0,188 \times 1,25 \text{ inchi} = 0,235 \text{ inchi} = 5,97 \text{ mm}$
- Diameter tabung 18 = $0,166 D = 0,166 \times 1,25 \text{ inchi} = 0,207 \text{ inchi} = 5,27 \text{ mm}$
- Panjang *Tube bundle* adalah 27 mm.

3. Perforated plate

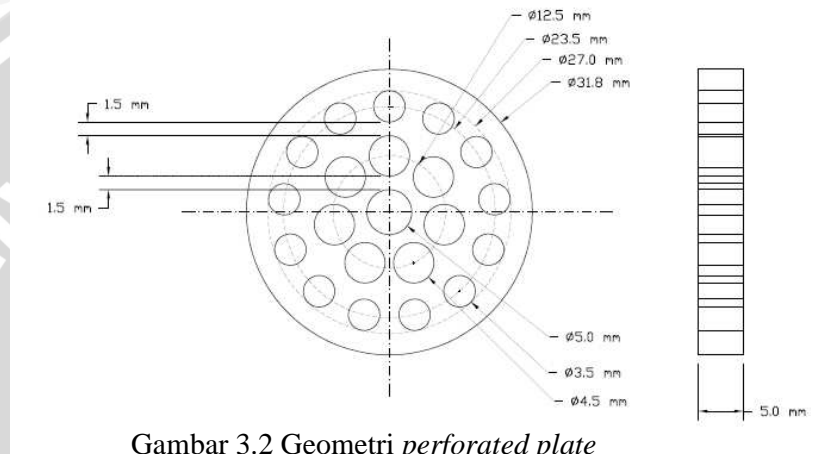
Terbuat dari acrylic dengan geometri dari *perforated plate* adalah sebagai berikut:

Jumlah total lubang adalah 21 buah dengan susunan jumlah lubang 1; 7; 13

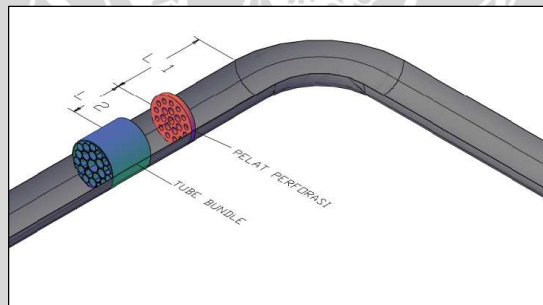
$$d_1 = 0,2679 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot D = 0,2679 \cdot \sqrt{0,5} \cdot 31,75 \text{ inch} = 6,014 \approx 6 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,6238 \cdot \sqrt{\alpha/n} \cdot D = 0,6238 \cdot \sqrt{0,5/7} \cdot 31,75 \text{ mm} = 5,2932 \approx 5,3 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0,734 \cdot \sqrt{\alpha/m} \cdot D = 0,734 \cdot \sqrt{0,5/13} \cdot 31,75 \text{ mm} = 4,570 \approx 4,6 \text{ mm}$$



Gambar 3.2 Geometri *perforated plate*



Gambar 3.3 Skema Peletakan *Flow Conditioner*

4. Pompa

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

Spesifikasi dari alat ini adalah sebagai berikut :

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

4. Bak Penampung

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

5. Rotameter

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



Gambar 3.4 Rotameter

6. Katup (valve)

Digunakan untuk mengontrol aliran air yang melalui jaringan pipa.

7. Manometer

Manometer digunakan untuk mengetahui tekanan air, manometer yang digunakan merupakan manometer air (H₂O) dengan hasil data yang di ambil berupa Beda Tekanan.



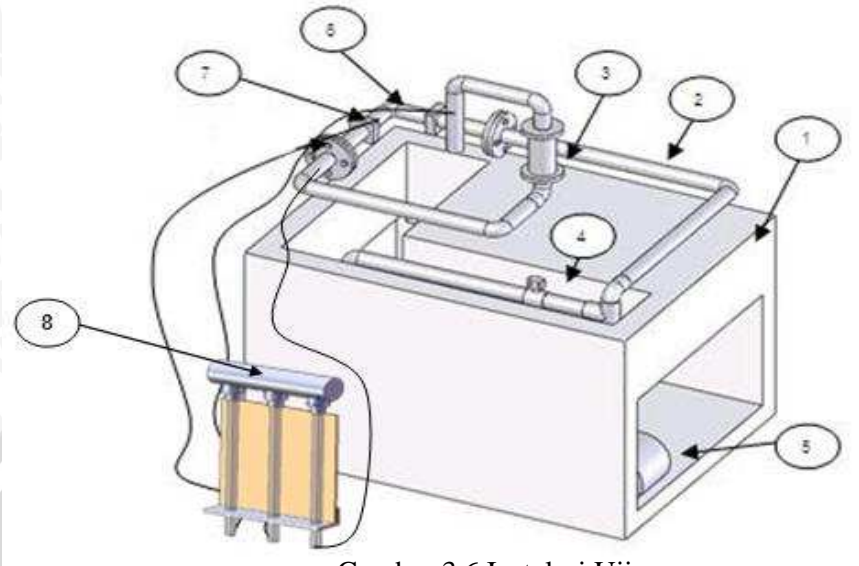
Gambar 3.5 manometer

8. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pelaksanaan pengambilan data. Waktu yang digunakan dalam pengambilan data yaitu 5 menit tiap variasi debit aliran.

3.5 Instalasi Penelitian

Susunan peralatan pada saat penelitian dapat dilihat pada gambar 3.5 :



Gambar 3.6 Instalasi Uji

Keterangan :

1. Bak penampung
2. Pipa
3. Rotameter
4. Katup
5. Pompa
6. Belokan dengan *perforated plate*
7. *Tube Bundle*
8. manometer

3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain.

Variabel bebas dalam penelitian adalah :

- Jarak Peletakan *Tube Bundle* 2D, 3D, 4D, 5D, dari hilir belokan.

2. Variable terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

- Kerugian *head* pada belokan pipa.
- Koefisien kerugian *head* pada belokan pipa

3. Variabel terkontrol yaitu variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Debit aliran : 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, 2000 liter/jam..

3.7 Metode Pengambilan Data

Adapun urutan proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan instalasi jaringan pipa dengan belokan pipa yang memiliki *flow conditioner* berupa kombinasi *perforated plate-tube bundle* dengan jarak antara *perforated plate* dengan *tube bundle* telah ditentukan.
2. Pengambilan data dimulai dengan mengalirkan fluida dari bak penampung ke seluruh jaringan pipa. Debit aliran dikontrol dengan melihat rotameter yang pengaturannya menggunakan katup, dimana debit aliran dimulai dari yang terendah yaitu 1000 liter/jam. Pengambilan data dilakukan kembali dengan debit yang baru sampai dengan debit 2000 liter/jam.
3. Mengganti pipa uji dengan pipa uji lain yang diuji selanjutnya.
4. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 3 dengan variasi debit yang tetap.
5. Pengolahan data tekanan untuk mendapatkan tekanan rata-rata aliran fluida pada tiap debit untuk masing-masing pipa uji.

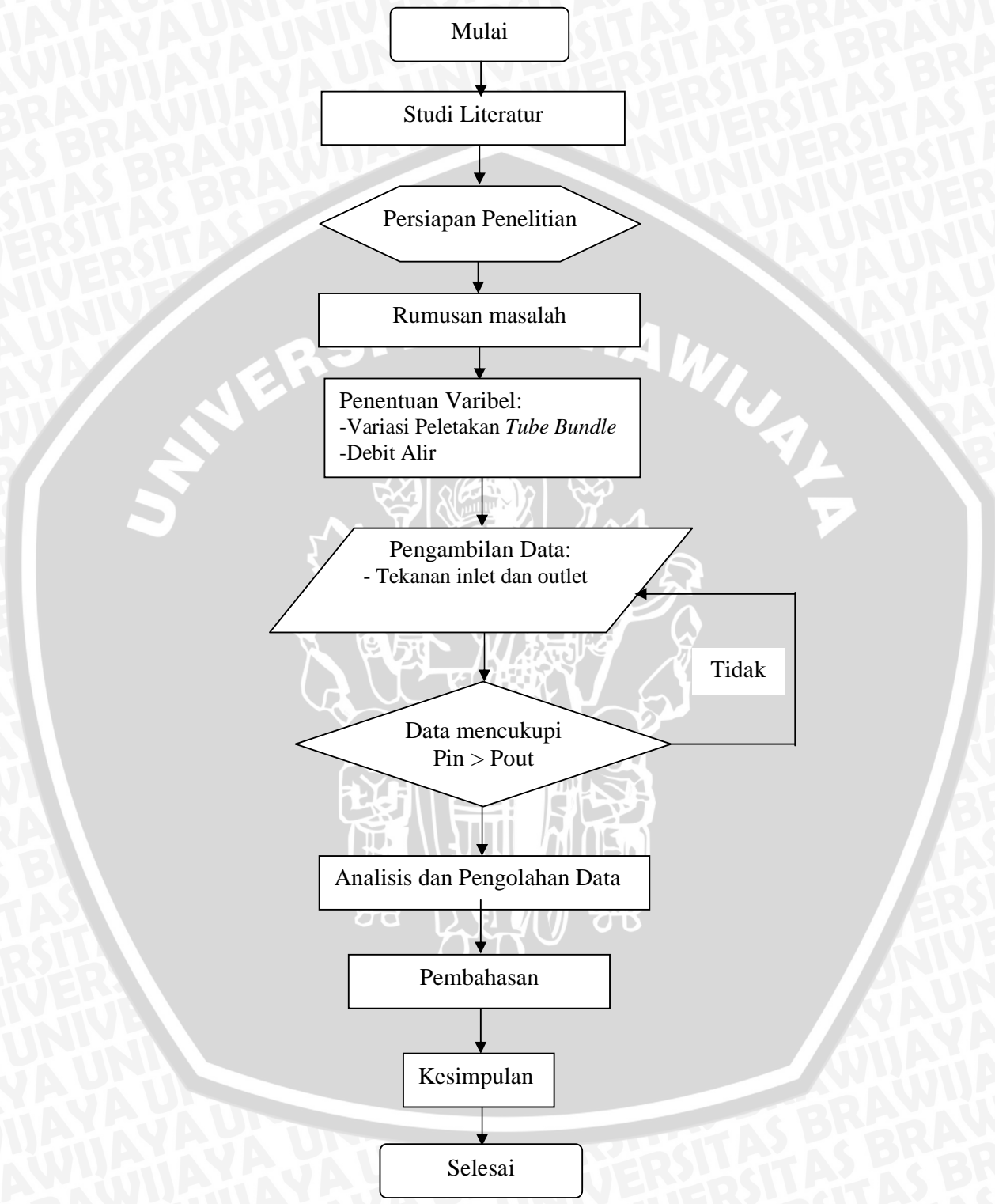
3.8 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui hubungan pengaruh variasi jarak peletakan *vane* terhadap kerugian *head* agar hasil data yang diperoleh dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Dalam penelitian ini diketahui data awal viskositas kinematik dan temperatur suhu air.

Tabel 3.1 rancangan penelitian yang diperoleh

DEBIT (Q) [LITER/H]	TEKANAN SEBELUM BELOKAN (H ₁) [mm]	TEKANAN SEBELUM <i>FLOW</i> <i>CONDITIONER</i> (H ₂) [mm]	TEKANAN SESUDAH <i>FLOW</i> <i>CONDITIONER</i> (H ₃) [mm]
1000	H _{1A}	H _{2A}	H _{3A}
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000	H _{1K}	H _{2K}	H _{3K}

3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan manometer dengan fluida air pada titik sebelum belokan (H_1), titik tepat setelah belokan (H_2), dan titik setelah melewati *flow conditioner* (H_3) sehingga data awal yang dihasilkan berupa tekanan dalam satuan milimeter.

4.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari Bilangan *Reynold* (Re) 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) = 23⁰C
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
- Debit aliran (Q) dengan variasi = 1000 - 2000 liter/jam.

Dari Tempetarur air pada 23⁰C tersebut didapatkan nilai dari densitas dan viskositas kinematiknya sebagai berikut (Berdasarkan tabel properties air dari Streeter, Victor L, E. Benjamin, 1981: Lampiran) :

- Densitas (ρ) = 997.54 Kg/m³
- Viskositas kinematik (ν) = 0,941.10⁻⁶ m²/s

Contoh perhitungan data :

- Dari data tekanan yang terbaca pada manometer dapat diketahui beda tekanan yang terjadi. Beda tekanan yang terjadi pada belokan pipa tanpa *tube bundle*.
- Luas penampang pipa (A)

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (31,75)^2 \\ &= 791,3290625 \text{ mm}^2 = 7,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Kecepatan Aliran Fluida (V)

$$\text{Contoh pada } Q = 1000 \text{ liter/ jam} = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$= \frac{2,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}}{7,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,351 \text{ m/s}$$

➤ Bilangan *Reynold* (*Re*)

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

$$= \frac{0,351 \text{ m/s} \cdot 3,175 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,941 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$= 11842,986$$

Hal ini menunjukkan bahwa aliran yang terjadi sepanjang pipa uji adalah turbulen

➤ Data yang terlihat di manometer dicatat pada tiap titiknya dan dihitung ΔH dengan ketentuan sebagai berikut:

- ΔH_1 = beda tekanan pada belokan = $H_1 - H_2$
- ΔH_2 = beda tekanan sebelum dan sesudah *flow conditioner* = $H_2 - H_3$
- ΔH_3 = beda tekanan pada keseluruhan pipa uji = $H_1 - H_3$

ΔH yang terjadi pada belokan pipa tanpa pemasangan kombinasi *tube bundle* dan *perforated plate* pada debit 1000 liter/ jam:

$$H_1 = 172,5 \text{ mmH}_2\text{O} = 0,1725 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_2 = 163,5 \text{ mmH}_2\text{O} = 0,1635 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H_3 = 162 \text{ mmH}_2\text{O} = 0,162 \text{ mH}_2\text{O}$$

Sehingga nilai ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 adalah sebagai berikut :

$$\Delta H_1 = 0,1725 \text{ mH}_2\text{O} - 0,1635 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$= 0,009 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$\Delta H_2 = 0,1635 \text{ mH}_2\text{O} - 0,162 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$= 0,0015 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$\Delta H_3 = 0,1725 \text{ mH}_2\text{O} - 0,162 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$= 0,0105 \text{ mH}_2\text{O}$$

➤ Beda Tekanan (ΔP)

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \rightarrow \Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H$$

$$= 997,54 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,09 \text{ m}$$

$$= 880,7281 \text{ Pa.}$$

➤ Koefisien Kerugian *Head*

$$\Delta H = \zeta_{\text{bend}} \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\zeta_{\text{bend}} = \frac{\Delta H}{\frac{v^2}{2 \cdot g}}$$

$$= \frac{0,09 \text{ m}}{\left(\frac{(0,351 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \right)} = 1,4304$$

4.3 Data Hasil Perhitungan

Dari perhitungan data pada subbab 4.1, maka untuk semua variasi dapat ditabelkan sebagai berikut:

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

Tabel 4.1. Debit (Q), Kecepatan (V), dan bilangan *Reynold* (Re)

Q (liter/jam)	Q (m3/s)	V (m/s)	B. Reynold (Re)
1000	0.000278	0.351172918	11848.82
1100	0.000306	0.386290209	13033.7
1200	0.000333	0.421407501	14218.58
1300	0.000361	0.456524793	15403.47
1400	0.000389	0.491642085	16588.35
1500	0.000417	0.526759376	17773.23
1600	0.000444	0.561876668	18958.11
1700	0.000472	0.59699396	20142.99
1800	0.0005	0.632111252	21327.88
1900	0.000528	0.667228543	22512.76
2000	0.000556	0.702345835	23697.64

2. Kerugian Head

Tabel 4.2. Kerugian Head

Debit	Kerugian Head (m)				
	Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	0.009	0.004	0.0055	0.0065	0.008
1100	0.01	0.0055	0.0065	0.0075	0.009
1200	0.012	0.0065	0.0075	0.0085	0.01
1300	0.013	0.007	0.0085	0.009	0.011
1400	0.015	0.0085	0.009	0.01	0.012
1500	0.0155	0.009	0.01	0.011	0.013
1600	0.016	0.01	0.011	0.0125	0.014
1700	0.017	0.0105	0.012	0.014	0.015
1800	0.021	0.0125	0.0135	0.015	0.016
1900	0.022	0.013	0.014	0.0155	0.017
2000	0.0235	0.0145	0.0155	0.0175	0.021

3. Penurunan Tekanan

Tabel 4.3 Penurunan Tekanan

Debit	Perbedaan Tekanan (Pa)				
	Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	88.07281	39.1434696	53.82227	63.60814	78.28694
1100	97.85867	53.8222707	63.60814	73.39401	88.07281
1200	117.4304	63.6081381	73.39401	83.17987	97.85867
1300	127.2163	68.5010718	83.17987	88.07281	107.6445
1400	146.788	83.1798729	88.07281	97.85867	117.4304
1500	151.6809	88.0728066	97.85867	107.6445	127.2163
1600	156.5739	97.858674	107.6445	122.3233	137.0021
1700	166.3597	102.7516077	117.4304	137.0021	146.788
1800	205.5032	122.3233425	132.1092	146.788	156.5739
1900	215.2891	127.2162762	137.0021	151.6809	166.3597
2000	229.9679	141.8950773	151.6809	171.2527	205.5032

4. Koefisien Kerugian Head

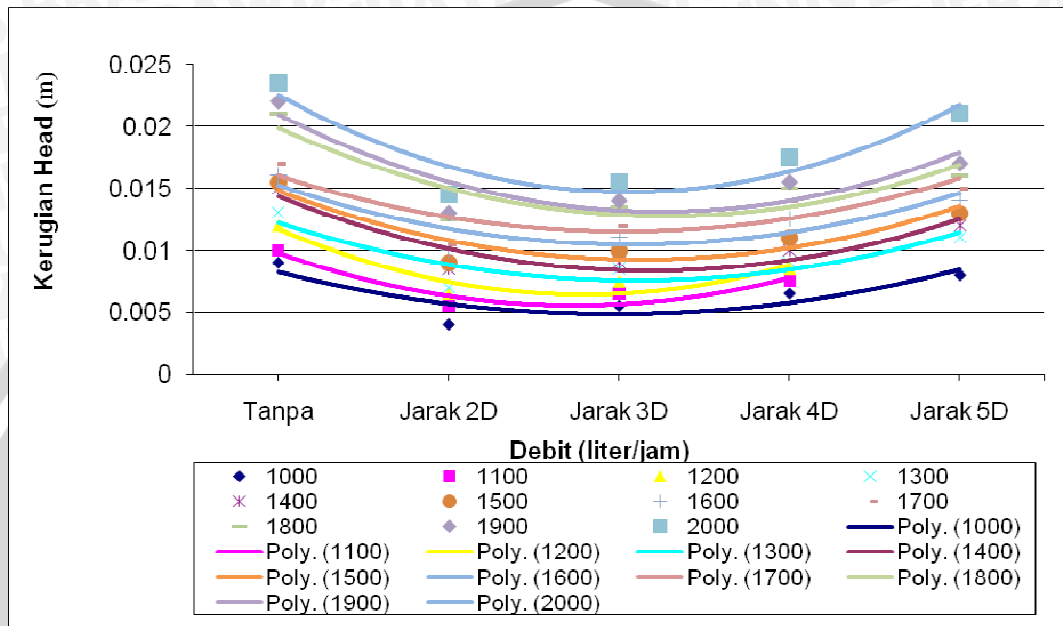
Tabel 4.4. Koefisien Kerugian Head (K)

Debit	Koefisien Kerugian Head				
	Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	1.430397	0.635732	0.874131	1.033064	1.271464
1100	1.58933	0.874131	1.033064	1.191997	1.430397
1200	1.907196	1.033064	1.191997	1.35093	1.58933
1300	2.066129	1.112531	1.35093	1.430397	1.748263
1400	2.383995	1.35093	1.430397	1.58933	1.907196
1500	2.463461	1.430397	1.58933	1.748263	2.066129
1600	2.542928	1.58933	1.748263	1.986662	2.225062
1700	2.701861	1.668796	1.907196	2.225062	2.383995
1800	3.337593	1.986662	2.145595	2.383995	2.542928
1900	3.496526	2.066129	2.225062	2.463461	2.701861
2000	3.734925	2.304528	2.463461	2.781327	3.337593

Pengambilan data dilakukan dengan variasi peletakan jarak *Tube Bundle* : 2D, 3D, 4D, dan 5D dari keluaran pada belokan pipa yang dilengkapi dengan *perforated plate*, serta pengambilan data tanpa penggunaan *perforated plate* dan *Tube Bundle* sebagai perbandingan, sedangkan untuk setiap perlakuan juga dilakukan variasi 1000 L/jam, 1100 L/jam, 1200 L/jam, 1300 L/jam, 1400 L/jam, 1500 L/jam, 1600 L/jam, 1700 L/jam, 1800 L/jam, 1900 L/jam, 2000 L/jam.

4.4 Grafik Hasil Penelitian

4.4.1 Analisa Grafik Hubungan antara Variasi Jarak terhadap Kerugian Head (ΔH) pada belokan pipa



Gambar 4.1 Grafik hubungan variasi jarak terhadap kerugian head

Gambar 4.1 diatas menunjukkan kecenderungan yang sama, dimana kerugian Head (ΔH) terhadap aliran debit pada belokan dengan penambahan kombinasi *perforated plate* dan *tube bundle* dengan variasi jarak 2D, 3D, 4D dan 5D dari keluaran pada belokan pipa semakin besar dengan bertambahnya debit. Untuk grafik belokan pipa tanpa penambahan *perforated plate* dan *tube bundle* pada debit 1000 Liter/jam kerugian Head (ΔH) yang terjadi sebesar 0.009m. Beda tekanan (Δp) ini akan terus naik dengan bertambahnya debit, dimana pada debit maksimum yaitu 2000 Liter/jam akan menghasilkan beda tekanan yang maksimum yaitu 0.0235m. Untuk grafik belokan pipa yang dilengkapi *perforated plate* dan variasi peletakan *tube bundle* juga menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu semakin besar debit, maka kerugian Head (ΔH) yang terjadi semakin besar. Hal itu disebabkan karena semakin besar kecepatan aliran, fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan semakin meningkatnya bilangan Debit maka secara langsung juga akan meningkatkan besar bilangan Reynold. 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.

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. 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:

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

Head statis merupakan penjumlahan *head pressure* dengan *head* elevasi. Dikarenakan *head* elevasi fluida adalah sama pada bagian hulu dan hilirnya, sehingga yang mempengaruhi *head total* hanya *head pressure* fluida atau $h = \frac{P}{\gamma}$. 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

Aliran fluida yang melewati belokan tanpa *perforated plate* dan *tube bundle* menghasilkan kerugian *Head* (ΔH) yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan aliran yang melewati belokan dengan pemasangan *perforated plate* dan *tube bundle*, terutama dengan variasi jarak peletakan *tube bundle* terhadap plat perforasi sebesar 2D, 3D, 4D, dan 5D. Hal ini terjadi karena tanpa pemasangan *perforated plate* dan *tube bundle*, intensitas *losses* akan lebih besar karena peluang terbentuknya *vortex* dan *twin eddy* tidak berprofil lingkaran akibat gaya sentrifugal juga semakin besar.

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *Tube Bundle* dan *perforated plate* pada belokan pipa dapat mengurangi kerugian *Head* (ΔH). Semakin dekat jarak *tube bundle* terhadap belokan pipa dengan *perforated plate* akan menghasilkan Kerugian *Head* (ΔH) yang semakin kecil, dimanan kerugian *head* yang paling kecil terjadi pada jarak 2D dari hilir. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik 4.2

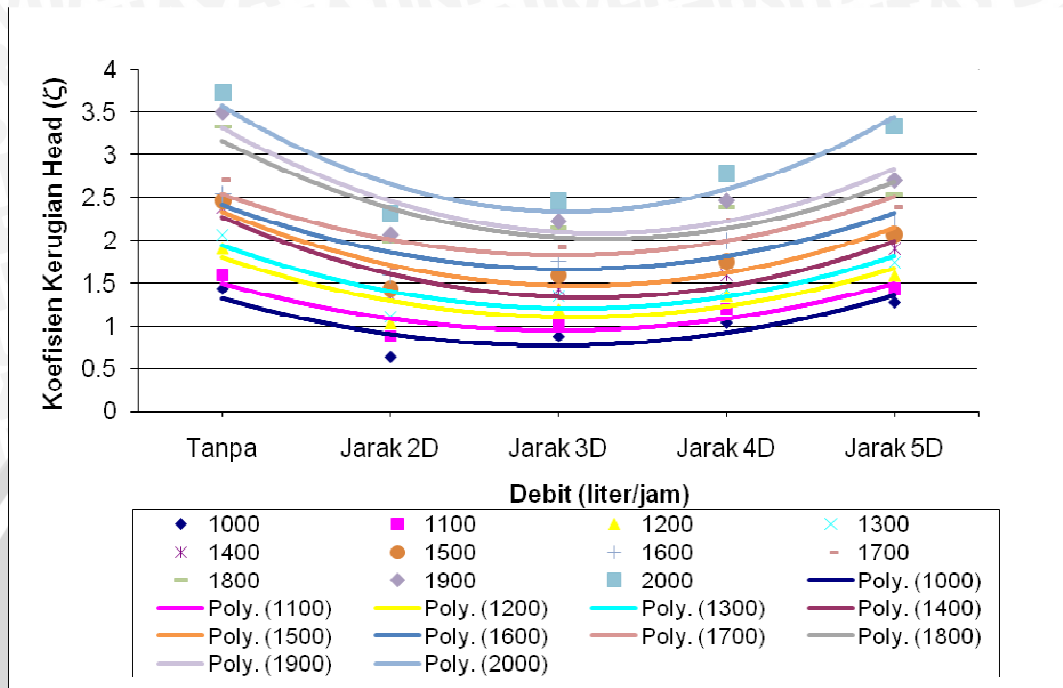
diatas bahwa kerugian *Head* (ΔH) yang terjadi untuk belokan sebelum penambahan *perforated plate* dan *tube bundle* pada debit 1000Liter/menit, 1100Liter/menit, 1200liter/menit secara berurut 0.009m, 0.010m, 0.012, sedangkan jika dibandingkan dengan penambahan *perforated plate* dan variasi jarak peletakan *Tube Bundle* untuk jarak 2D dengan debit yang sama menunjukkan kerugian *Head* (ΔH) 0.004m, 0.0055m, 0.0065m dan dengan jarak peletakan *Tube Bundle* 3D setelah *Perforated Plate* menunjukkan kerugian *Head* 0.0055m, 0.0065m, 0.0075. Untuk peletakan *tube bundle* dengan jarak 4D menghasilkan kerugian *Head* 0.0065m, 0.0075m, 0.0085 dan dengan jarak 5D kerugian *Head* (ΔH) yang dihasilkan 0.008m, 0.009m, 0.010m.

Semakin meningkatnya Kerugian *Head* (ΔH) dengan semakin bertambahnya jarak peletakan *tube bundle* disebabkan karena dengan semakin jauh jarak peletakan *Tube Bundle* dari *Perforated Plate* pada belokan pipa maka pemisahan aliran fluida (separasi) dan *vortex* yang terbentuk lebih besar sehingga kerugian *head* (ΔH) 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* semakin mendekati minimal sehingga menghasilkan koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) minimum. Dengan Semakin minimalnya koefisien kerugian *head* belokan (ζ_{bend}) maka semakin kecil pula

head losses (H); $H = \zeta_{\text{bend}} \frac{v^2}{2g}$.



4.4.2 Analisa Grafik Hubungan antara variasi jarak terhadap Koefisien Kerugian Head (ζ) pada belokan pipa



Gambar 4.2 Grafik hubungan variasi jarak terhadap koefisien kerugian head

Dari gambar 4.2 tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan semakin besar debit maka menyebabkan koefisien kerugian Head pada belokan pipa meningkat. Untuk peletakan *tube bundle* dengan jarak 2D koefisien kerugian Head (ΔH) terendah terjadi pada debit yang paling kecil yaitu 1000 (Ltr/jam) sebesar 0.635732, diikuti dengan debit 1100 (Ltr/jam) sebesar 0.874131, kemudian diikuti debit 1200 (Ltr/jam) yang mempunyai koefisien kerugian Head sebesar 1,033064, sedangkan koefisien kerugian Head yang paling besar terjadi pada debit yang paling besar yaitu pada debit 2000 (Ltr/jam) sebesar 2,30428. Hal ini terjadi karena ketika debit meningkat sebanding dengan meningkatnya bilangan Reynold fluida. akibatnya fluida menjadi semakin turbulen yang dapat ditunjukkan dengan meningkatnya bilangan Reynold. Turbulensi tersebut mempunyai partikel-partikel yang bergerak acak dan tidak stabil sehingga sangat potensial untuk membentuk *vortex*. Semakin besar kecepatan aliran fluida maka *vortex* yang terjadi menyebabkan aliran fluida kehilangan energi lebih banyak sehingga koefisien kerugian head yang terjadi semakin besar.

Pada gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak peletakan *tube bundle* maka koefisien kerugian head juga semakin besar, dimana terlihat bahwa belokan pipa yang dilengkapi *pelat perforasi* dengan penambahan variasi peletakan *tube bundle* dengan jarak 2D memiliki koefisien kerugian head (ζ) yang paling kecil yang kemudian diikuti 3D, 4D, 5D, dan tanpa *flow conditioner* dengan debit yang sama. Pada debit 1000 (Ltr/jam) koefisien kerugian head yang terjadi secara berurut 0,0635732, 0,0874131, 1,033064, 1,271464, 1,430397, kecendrungan ini juga terjadi pada setiap variasi debit. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jarak peletakan *tube bundle* dari sisi keluaran belokan pipa maka semakin kecil peluang terbentuknya *twin eddy* berprofil lingkaran, sehingga separasi dan *vortex* yang terbentuk lebih besar maka beda tekanan yang terjadi juga lebih besar, dimana kerugian head (ΔH) berbanding lurus dengan koefisien kerugian head (ζ) yang berarti meningkatnya kerugian head (ΔH) maka koefisien kerugian head juga semakin juga kan semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan kerugian pada belokan $\zeta_{\text{bend}}=0,73.a.b.c$; semakin profil *twin eddy* mendekati lingkaran dapat diartikan pula bahwa *side ratio* semakin menjauhi 2,5 yang mengakibatkan nilai parameter c semakin besar, sehingga menghasilkan koefisien kerugian head belokan (ζ_{bend}) yang semakin besat. Dimana semakin meningkatnya koefisien kerugian head belokan (ζ_{bend}) semakin besar pula *head losses* (H);

$$H = \zeta_{\text{bend}} \frac{v^2}{2g} .$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Pemasangan *tube bundle* dengan jarak tertentu pada bagian hilir belokan pipa yang dilengkapi *perforated plate* mempengaruhi penurunan/ beda tekanan dan kerugian *head*.
- Semakin dekat jarak peletakan *tube bundle* terhadap sisi keluaran pada belokan pipa yang di lengkapi *perforated plate*, maka beda tekanan (ΔP) yang terjadi semakin besar, dimana pada pemasangan *tube bundle* pada jarak 2D, 3D, 4D, dan 5D pada debit 1000liter/jam kerugian head yang terjadi secara berturut-turut sebesar 0,004, 0,0055, 0,0065, 0,008. Hal ini disebabkan semakin dekat jarak peletakan *tube bundle* maka terbentuknya *vortex* maupun *twin eddy* yang berprofil lingkaran semakin besar. sehingga kerugian *Head*-nya juga semakin kecil.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan berbagai variasi yang lain, yaitu:

- Fluida yang digunakan adalah *compressible* dan perlu adanya analisa tentang visualisasi pola aliran fluida sebelum dan setelah melewati *Perforated Plate*.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang penggunaan kombinasi *flow conditioner* jenis lainnya sehingga dapat diperoleh kesimpulan tentang kombinasi *flow conditioner* yang terbaik untuk mengatasi kerugian pada belokan.

DAFTAR PUSTAKA

- Daugherty. Robert L, 1989: *Fluid Mechanics With Engineering Application*, McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Fox. Robert W, dkk, 1994: *Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, 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 States.
- 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: *Fluid Mechanics*; Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Pramudibyo, Bagus; 2008: *Pengaruh peletakan pelat perforasi terhadap kerugian head pada belokan pipa Variasi panjang tube bundle dan peran sertanya terhadap kerugian head aliran fluida pada belokan*; Skripsi tidak dipublikasikan; Universitas Brawijaya, Malang.
- 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; 1988: *Fluid Mechanics*; 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.

<http://www.flowconditioner.com/products/flowc.htm>

www.cpcal.com





LAMPIRAN

LAMPIRAN A

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 B

Tabel Data Hasil Pengukuran Beda Tekanan Pada Belokan Pipa

Debit (Q) [liter/h]	Tanpa flow conditioner			Jarak peletakan 2D			Jarak peletakan 3D		
	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum flow conditioner (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah flow conditioner (p ₃) [cm]	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum flow conditioner (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah flow conditioner (p ₃) [cm]	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum flow conditioner (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah flow conditioner (p ₃) [cm]
1000	17.25	16.35	16.2	12.5	12.1	6.4	12.9	12.35	6.3
1100	18.35	17.35	17.2	14.5	13.95	8	14.7	14.05	8
1200	19.35	18.15	18	15.3	14.65	5.8	15.6	14.85	6
1300	20.75	19.45	19.3	17.3	16.6	7.5	17.8	16.95	7.7
1400	22.15	20.65	20.5	19.6	18.75	8.6	20.1	19.2	8.3
1500	23.45	21.9	21.75	22.1	21.2	9.2	22.3	21.3	8.8
1600	24.85	23.25	23.1	23.7	22.7	8.5	24	22.9	8.1
1700	26.35	24.65	24.35	27.1	26.05	10.2	27.4	26.2	9.7
1800	28.25	26.15	25.85	28.8	27.55	10.3	29.2	27.85	9.5
1900	29.65	27.45	27.15	31.3	30	10.4	32.9	31.5	11
2000	31.5	29.15	28.6	32.6	31.15	11	33.5	31.95	10

Debit (Q) [liter/h]	Jarak peletakan 4D			Jarak peletakan 5D		
	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum flow conditioner (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah flow conditioner (p ₃) [cm]	Tekanan sebelum belokan (p ₁) [cm]	Tekanan sebelum flow conditioner (p ₂) [cm]	Tekanan sesudah flow conditioner (p ₃) [cm]
1000	9.4	8.75	2.4	9.2	8.4	2
1100	10	9.25	2.5	11.6	10.7	3
1200	13	12.15	3.2	13	12	2
1300	14	13.1	3.8	15.6	14.5	3.6
1400	16.1	15.1	4	18	16.8	4.5
1500	18.1	17	4.2	19.8	18.5	4.7
1600	21	19.75	4.6	23	21.6	5.6
1700	23.6	22.2	5	25	23.5	5.1
1800	26.9	25.4	6.2	29.2	27.6	6.4
1900	29.3	27.75	6.2	30.7	29	7
2000	33.5	31.75	7.6	30.8	28.7	3.2

LAMPIRAN C

Tabel Data Hasil Perhitungan Beda Tekanan Seluruh Variasi

Q (liter/jam)	Q (m3/s)	V (m/s)	B. Reynold (Re)	Head Losses pada belokan pipa (Δh_{12}) [m]					Head Losses pada belokan pipa (Δh_{23}) [m]					Head Losses pada belokan pipa (Δh_{13}) [m]				
				Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D	Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D	Tanpa	Jarak 2D	Jarak 3D	Jarak 4D	Jarak 5D
1000	0.000277778	0.351172918	11848.82054	0.009	0.004	0.0055	0.0065	0.008	0.0015	0.057	0.0605	0.0635	0.064	0.0105	0.061	0.066	0.07	0.072
1100	0.000305556	0.386290209	13033.7026	0.01	0.0055	0.0065	0.0075	0.009	0.0015	0.0595	0.0605	0.0675	0.077	0.0115	0.065	0.067	0.075	0.086
1200	0.000333333	0.421407501	14218.58465	0.012	0.0065	0.0075	0.0085	0.01	0.0015	0.0885	0.0885	0.0895	0.1	0.0135	0.095	0.096	0.098	0.11
1300	0.000361111	0.456524793	15403.46671	0.013	0.007	0.0085	0.009	0.011	0.0015	0.091	0.0925	0.093	0.109	0.0145	0.098	0.101	0.102	0.12
1400	0.000388889	0.491642085	16588.34876	0.015	0.0085	0.009	0.01	0.012	0.0015	0.1015	0.109	0.111	0.123	0.0165	0.11	0.118	0.121	0.135
1500	0.000416667	0.526759376	17773.23082	0.0155	0.009	0.01	0.011	0.013	0.0015	0.12	0.125	0.128	0.138	0.017	0.129	0.135	0.139	0.151
1600	0.000444444	0.561876668	18958.11287	0.016	0.01	0.011	0.0125	0.014	0.0015	0.142	0.148	0.1515	0.16	0.0175	0.152	0.159	0.164	0.174
1700	0.000472222	0.59699396	20142.99493	0.017	0.0105	0.012	0.014	0.015	0.003	0.1585	0.165	0.172	0.184	0.02	0.169	0.177	0.186	0.199
1800	0.0005	0.632111252	21327.87698	0.021	0.0125	0.0135	0.015	0.016	0.003	0.1725	0.1835	0.192	0.212	0.024	0.185	0.197	0.207	0.228
1900	0.000527778	0.667228543	22512.75903	0.022	0.013	0.014	0.0155	0.017	0.003	0.196	0.205	0.2155	0.22	0.025	0.209	0.219	0.231	0.237
2000	0.000555556	0.702345835	23697.64109	0.0235	0.0145	0.0155	0.0175	0.021	0.0055	0.2015	0.2195	0.2415	0.255	0.029	0.216	0.235	0.259	0.276

